



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURI TUOHIMAA  
PUUKERROSTALOJEN RAKENNEJÄRJESTELMÄN VALINTA  
OMAPERUSTEISESSA ASUNTOTUOTANNOSSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Arto Saari  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
24. syyskuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**TUOHIMAA LAURI:** Puukerrostalojen rakennejärjestelmän valinta omaperusteisessa asuntotuotannossa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 105 sivua, 1 liitesivu

Lokakuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: Professori Arto Saari

Ohjaaja: Associate Professor Markku Karjalainen

**Avainsanat:** puukerrostalo, puukerrostalarakentaminen, rakennejärjestelmä

Puukerrostalarakentamisen nähdään kasvavan erityisesti ympäristökysymysten ja ekologisuuden ajamana. Puukerrostalarakentamisen nähdään tarjoavan lisää vaihtoehtoja asunonostajille. Ekologisuuden lisäksi puukerrostalarakentamisessa nousee esille teollinen esivalmistus, jonka nähdään nopeuttavan rakennusten rakennusaikaa ja hallittujen valmistusolosuhteiden ansiosta parantavan laatua.

Tutkimus koostuu kirjallisuustutkimuksesta sekä haastattelututkimuksesta. Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina ja niissä haastateltiin puukerrostalarakentamisen kanssa tekemisissä olleita henkilöitä. Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen.

Puukerrostalarakentamiseen soveltuvia rakennejärjestelmiä on tällä hetkellä useita. Tutkimuksessa selvitetään, minkälaisia rakennejärjestelmiä puukerrostalojen rakentamisessa voidaan käyttää. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään eri rakennejärjestelmien toteutukseen liittyviä asioita. Näiden avulla muodostetaan käsitys siitä, mitkä tekijät vaikuttavat puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan. Tutkimusongelmaksi määriteltiin, minkälainen rakennejärjestelmä valitaan kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisen asuinpuukerrostalon rakentamiseen. Tutkimuksen tuotoksena saatiin laadittua ehdotus kohdeyritykselle rakennejärjestelmän valinnasta esimerkkinä käytettyyn tyyppitaloon. Lisäksi tuotoksena tutkimuksesta saatiin esille rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavia asioita.

Rakennejärjestelmään vaikuttavina asioina korostuvat erityisesti toteutettavan kohteen erityispiirteet, rakennuksen muoto, huoneistojakauma, huoneistojen keskikoot, toistuvuus huoneistoissa ja rakennuksen kerrosmäärä sekä kerroskorkeus. Rakennejärjestelmän valinnassa vaikuttaa haluttu esivalmistusaste. Teollista esivalmistusta voidaan viedä kaikista pisimmälle tilaelementtitekniikalla. Valinnassa tulee kiinnittää toteutuksen kannalta huomiota tontin ja työmaan ominaisuuksiin sekä rakentajan resursseihin. Rakentajan resurssit ja osaaminen vaikuttavat siihen, mikä on järkevä esivalmistuksen aste ja tapa rakentaa puukerrostalo. Lisäksi on mietittävä mahdollisia toimittajia ja kilpailutusmahdollisuuksia. Puukerrostalarakentamisessa sekä eri rakennejärjestelmien hyödyissä korostuvat teollinen esivalmistus ja siihen liittyvät edut. Rakennuksen suunnittelussa olisi tärkeää, että arkkitehdit sekä rakennesuunnittelijat ymmärtäisivät rakennejärjestelmien erityispiirteet sekä teollisen esivalmistuksen piirteet ja toteutukseen liittyvät näkökulmat.

## ABSTRACT

**LAURI TUOHIMAA:** Selection of structural system for multi-storey timber apartment buildings in housing development

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 105 pages, 1 Appendix page

October 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction Production

Examiner: Professor Arto Saari

Instructor: Associate Professor Markku Karjalainen

**Keywords:** Multi-storey timber apartment building, construction of multi-storey timber apartment building, structural system

The number of multi-storey timber apartment buildings is seen to grow driven by environmental issues and ecology. Construction of multi-storey timber apartment buildings will give more options for customers who want to buy an apartment from multi-storey buildings. Industrial prefabrication of wooden elements is seen to shorten the time spent at construction site. Industrial prefabrication is also seen to improve the quality of construction because the conditions in the factories are controlled.

This thesis consists of literature research and interviews. The interviews were carried out as theme interviews. Interviewees were persons who have been dealing with the construction of multi-storey timber apartment buildings. This thesis is a qualitative research.

At the moment there are a lot of different structural systems for multi-storey timber apartment buildings. Possible structural systems for multi-storey timber apartment buildings and issues related to construction of the timber apartment buildings are explained in this thesis. An understanding of the issues that affect the selection of structural system in multi-storey timber apartment buildings is formed. The aim of this thesis is to find out which structural system the target company should select for the construction of multi-storey timber apartment building. As a result of this thesis there comes a proposition of the structural system that the target company could use for building a multi-storey timber apartment building.

In the selection of structural system, the characteristics of the building are highlighted. The shape of the building, the shape and size of the apartments, similarity of the apartments and number and height of the floors play a significant role in the selection of the structural system. Also, the level of prefabrication wanted is an important issue. The shape of the property, the characteristics of the construction site and the resources of the construction company affect the decision. Possible suppliers and the possibilities for bidding competitions should be considered. In the construction of multi-storey timber apartment buildings many of the advantages come from industrial prefabrication. Architects and structural designers should know the characteristics of the structural system, industrial prefabrication and construction at the beginning of the design work.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö aukaisi silmiäni puukerrostalorakentamisen mahdollisuuksille, hyödyille ja haasteille. Diplomityön aloitusta ennen pyöriteltiin muutamia eri aihioita diplomityön aiheeksi. Olin pitkään ajatellut tekeväni diplomityön, joka olisi lähtöisin yrityksen tarpeesta. Tämän diplomityön aiheen valintaan vaikutti T2H Pirkanmaa Oy:n tarve selvittää puukerrostalojen rakennejärjestelmään ja rakentamiseen liittyviä asioita. Diplomityö sai konkreettisen aiheen ja tuotoksesta saataneen apuja tulevaisuuteen. Kiitokset työssä kohdeyrityksenäkin olleelle T2H Pirkanmaa Oy:lle käytännönläheisestä aiheesta, joka opetti paljon uutta.

Haluan kiittää diplomityön ohjaajaa Markku Karjalaista hyvistä palautteista ja kehitysehdotuksista. Lisäksi kiitokset kuuluvat työn tarkastajalle Arto Saarelle. Erityiskiitos kuuluu vaimolleni Nellalle, joka kannusti työn tekemisessä ja muistutti myös välillä hengähtämään ja keskittymään perheen kanssa olemiseen.

Tampereella, 22.10.2018

Lauri Tuohimaa

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet .....	6
1.3	Tutkimuksen rajaukset .....	6
1.4	Tutkimusmenetelmät .....	7
1.5	Tutkimuksen suoritus .....	8
2.	PUUKERROSTALORAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT OMINAISUUDET JA RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET .....	9
2.1	Rakentamismääräykset .....	9
2.2	Akustiikka ja ääneneristys .....	9
2.3	Palotekniikka .....	12
2.4	Energiatehokkuus .....	15
2.5	Kosteustekniikka .....	16
2.6	Jännemitat .....	17
2.7	Jäykistäminen .....	18
2.8	RunkoPES 2.0 .....	19
2.9	Talotekniikka .....	20
2.9.1	Reititys ja asennusperiaatteet .....	20
2.9.2	Lämmitysjärjestelmät .....	21
2.9.3	Viemäri- ja vesijohtoverkosto .....	22
2.9.4	Ilmanvaihtojärjestelmät .....	23
2.9.5	Sähkøjärjestelmät .....	23
2.9.6	Palotekniset laitteistot .....	24
2.9.7	Savunpoistolaitteisto .....	25
2.9.8	Lattialämmitys .....	25
2.10	Puurungon vaikutus suunnitteluun .....	26
3.	PUUKERROSTALOJEN RAKENNEJÄRJESTELMÄT JA TOTEUTUS .....	28
3.1	Puukerrostalojen rakennejärjestelmät ja toteutus .....	28
3.2	Puukerrostalorakentamisen etuja ja haasteita .....	29
3.3	Kantavat seinät-järjestelmä .....	30
3.4	Massiivipuiset suurelementit .....	31
3.5	Rankarakenteiset suurelementit .....	33
3.6	Tilaelementit .....	35
3.7	CLT-tilaelementit .....	38
3.8	Rankarakenteiset tilaelementit .....	40
3.9	Pilari-palkkijärjestelmä .....	41
3.10	Alapohjat ja perustukset .....	42
3.11	Välipohjat .....	43
3.12	Yläpohjat .....	45
3.13	Parvekkeet .....	47

3.14	Puukerrostalon elementit tuoteosakauppana .....	48
4.	HAASTATTELUTULOKSET .....	49
4.1	Haastattelujen suoritus .....	49
4.2	Puukerrostalorakentamisen tavoitteet .....	50
4.3	Puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijät .....	52
4.4	Haasteet puukerrostalorakentamisessa .....	55
4.5	Puukerrostalorakentamisen tulevaisuus .....	61
4.6	Rakennusalan muutostarpeet puurakentamisen edistämiseksi .....	63
4.7	Massiivipuiset suurelementit .....	66
4.8	Rankarakenteiset suurelementit .....	69
4.9	CLT-tilaelementit .....	73
4.10	Rankarakenteiset tilaelementit .....	77
4.11	Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä .....	80
4.12	Puukerrostalojen kustannustason arviointia .....	81
4.13	Haastattelututkimuksen yhteenveto .....	82
5.	ASUNTOKONSEPTIN VAIKUTUS PUUKERROSTALON RAKENNEJÄRJESTELMÄN VALINTAAN KOHDEYRITYKSESSÄ .....	90
5.1	Puukerrostalon rakennejärjestelmän valinnan kriteerit .....	90
5.2	Kohdeyrityksen asuntokonseptin esittely .....	90
5.3	Tyypitalon pohjan esittely .....	91
5.4	Kohdeyrityksen tyypitalon rakennejärjestelmän valinta .....	93
6.	POHDINTA JA TULOSTEN ARVIOINTI .....	95
6.1	Pohdinta ja tulosten arviointi .....	95
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	98
7.1	Puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat asiat .....	98
7.2	Jatkotutkimusehdotukset .....	99
	LÄHTEET .....	100
	LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET .....	106

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

848/2017	Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta
Asm <sup>2</sup>	Asuintilojen ala neliömetreinä
Brm <sup>2</sup>	Bruttoala neliömetreinä
CLT	Cross Laminated Timber, massiivipuulevy, valmistettu liimaamalla lautoja tai rimoja useaan kerrokseen ristikkäin.
EC	Eurocode eli Eurokoodit. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja. Puurakenteiden suunnittelustandardi on EC5.
Hum <sup>2</sup>	Huoneistoala neliömetreinä
Kem <sup>2</sup>	Kerrostasoala neliömetreinä
Kertopuu	Metsä Woodin oma tuotemerkki. Vastaa ominaisuuksiltaan viilupuuta.
KVR-urakka	Kokonaisvastuu-urakka. Urakoitsija vastaa kohteen suunnittelusta sekä rakentamisesta.
Liimapuu	Lamelleista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote.
LVIS	Lämpö, vesi ja viemäri, ilmanvaihto ja sähkö.
LVL	Laminated Veneer Lumber, viilupuu, sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote.
Perustajaurakoitsija	Rakennusliike, joka hankkii itse tontin sekä perustaa asunto-osakeyhtiön tai kiinteistöosakeyhtiön, rakentaa tai rakennuttaa rakennuksen ja myy huoneistot.
Puukerrostalo	Ainakin osaltaan yli kaksikerroksinen rakennus, jossa kantava runko ja julkisivut ovat pääasiassa puuta.
RakMK	Rakentamismääräyskokoelma

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelmatavoitteiden 2015–2019 mukaan Suomi on vuoteen 2025 mennessä bio- ja kiertotalouden sekä cleantechin edelläkävijä. Näihin tavoitteisiin tähdätään biotalouden ja puhtaiden ratkaisujen kärkihankkeilla. Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä -kärkihanke on yksi näistä viidestä kärkihankkeesta. Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä -kärkihankkeen tavoitteena on monipuolistaa puun käyttöä, lisätä puun käyttöä ja kasvattaa puun jalostusarvoa. Lisäksi tavoitteena on biotalouden keinoin luoda kilpailukykyisiä ja kestäviä ratkaisuja maailmanlaajuisiin ongelmiin ja synnyttää uutta liiketoimintaa, työpaikkoja sekä vientiä. Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä -kärkihankkeen yhtenä päätoimenpiteenä on puurakentamisen edistäminen säädöksiä sekä rakentamismääräyksiä purkamalla. (Valtioneuvosto 2015).

Puurakentaminen ja sen edistäminen ovat ajankohtaisia aiheita, kuten hallituksen Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä -kärkihankkeestakin käy ilmi. Puurakentamisen säädösten ja määräysten purkaminen sekä puurakentamisen edistäminen osaltaan mahdollistaa kestävien ratkaisuiden, uuden liiketoiminnan ja työpaikkojen luomisen (Valtioneuvosto 2015).

Kestävä kehitys koostuu neljästä eri ulottuvuudesta, joita ovat ekologinen, taloudellinen, sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. Ekologisen kestävyys näkökulmasta ihmisten toiminnan pitäisi sopeutua pitkällä aikavälillä luonnon kestävyys. Ekologisen kestävä kehityksen näkökulmasta tärkeitä asioita ovat erityisesti ilmastonmuutoksen hidastaminen, biologisen monimuotoisuuden turvaaminen sekä luonnonvarojen kestävä käyttö. (Puuinfo 2018).

Puurakentaminen käyttämällä luonnonvaroja varovaisuusperiaatetta noudattaen ja haittoja ennalta ehkäisten voi olla rakennusalan ratkaisu vastata kestävä kehityksen haasteisiin. Puu on uusiutuva luonnonvara ja sen ansiosta puun hyödyntäminen rakentamisessa on järkevää. Puun käyttäminen rakennusmateriaalina aiheuttaa huomattavasti vähemmän ympäristöhaittoja verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Rakentamisessa puun käytön avulla voidaan uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä vähentää. Puurakentaminen vähentää kokonaisuudessaan hiilidioksidipäästöjä. Puun jalostaminen aiheuttaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin muiden rakennusmateriaalien käyttäminen. Puuta käyttämällä on mahdollista korvata muita materiaaleja, joiden valmistus tuottaa hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi puu jo tavallisesti kasvaessaan sitoo runsaasti hiilidioksidia it-



seensä. Yksi kuutiometri kasvavaa puuta voi sitoa itseensä jopa yhden tonnin ilman hiili-dioksidia ja samalla vapautuu 700 kg happea ilmakehään. Tämän takana on biokemiallinen prosessi nimeltä fotosynteesi eli yhteyttäminen. (Tolppanen et al. 2013, s.130; Puuinfo 2018).

Taloudellisessa mielessä puurakentaminen tukee suomalaisten metsään perustuvaa vaurautta. Puun käyttö rakentamisessa tukee puutuoteteollisuutta ja antaa näin arvoa suomalaisten metsävarannolle. Puun käyttäminen rakentamisessa tukee myös puutuoteteollisuutta, mikä osaltaan voi synnyttää innovaatioita ja uusia vaihtoehtoja rakentamiseen. On todennäköistä, että uusiutumattomien rakennusmateriaalien ja muiden raaka-aineiden hinnat nousevat näiden luonnonvarojen ehtyessä. Puu uusiutuvana materiaalina voi vastata tähän haasteeseen. Toisaalta puun käyttö rakentamisessa edellyttää puun kestäväää käyttöä, jossa huomioidaan metsäpinta-ala ja metsien tila globaalisti, ettei puuvarantoa kuluteta nopeammin kuin puuta kasvaa. (Puuinfo 2018).

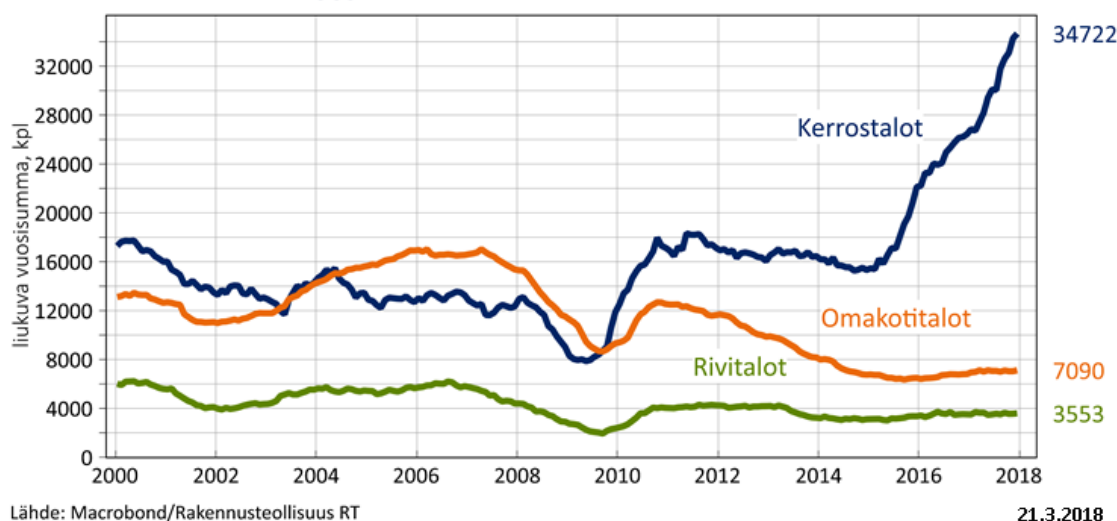
Sosiaalisessa ja kulttuurisessa kestävyudessa puurakentaminen ja puuteollisuus ovat Suomessa merkittävässä asemassa. Rakennusala ja puutuoteteollisuus työllistävät merkittävän määrän ihmisiä Suomessa. Rakennustuotteiden valmistus tapahtuu usein muualla kuin kasvukeskuksissa, joissa valtaosa rakentamisesta tapahtuu. Suuret puuelementtitehtaat sijaitsevat laajasti ympäri maata. Puurakentaminen osaltaan vaikuttaa tasaavasti aluelouteen. Puurakentaminen on perinteikästä. Puurakennukset kestävät hyvin, kunhan ne suunnitellaan ja toteutetaan hyvin ja niitä ylläpidetään huolellisesti. Pitkä rakennuksen elinkaari minimoi ympäristökuormituksia. Puurakennusten pitkäikäisyyttä tukee puurakennusten helppo korjattavuus ja kunnostus. (Puuinfo 2018).

Palomääräykset muuttuivat vuonna 2011 ja muutosten jälkeen puusta sai rakentaa jopa 8-kerroksisia asuinkerrostaloja. Vuoden 2011 palomääräysten muutosten jälkeen on rakennettu useita 5–8-kerroksisia asuinpuukerrostaloja. (Siikanen 2016, s18–19). Vuoden 2018 alusta voimaan tulleet muutokset asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta korvaavat entisen rakentamismääräyskokoelman osan E1 Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet vuodelta 2011. Vuoden 2018 alussa voimaan tullut uusi ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta muutti yli 2-kerroksisten P2-paloluokan rakennusten käyttötarkoituksia laajemmiksi. Asetuksen jälkeen uusia käyttötarkoituksia ovat asuinrakennus, majoitusrakennus, hoitolaitos, kokoontumis- ja liikerakennus sekä työpaikkarakennus. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta myös mahdollistaa yli 2-kerroksisten P2-paloluokan rakennuksen korkeuden kohoamisen jopa 28 metriin. P2-paloluokan puukerrostalojen kerrokset on kuitenkin edelleen rajattu palomääräysten taulukkomitoitusta käytettäessä kahdeksaan kerrokseen. Asetuksen tarkoituksena on parantaa tulkintojen vähenemisen kautta yritysten toimintaedellytyksiä, alentaa rakentamisen kustannuksia ja toisaalta parantaa rakennushankkeiden sujuvuutta. (Ympäristöministeriö 2017).

Asuntomarkkinassa puukerrostalojen markkinaosuus mitattuna kuutiometreillä sekä asuntojen lukumäärällä pyöristyy noin neljään prosenttiin (Puuinfo 2018). Vuodelle 2018 asuntojen määrän puukerrostaloissa odotetaan nousevan jopa viiteen prosenttiin (Hurmekoski & Korhonen 2017). Rakennusluvissa puukerrostalojen kokonaistilavuuden kasvu on ollut 9% vuonna 2017. Myös muilla sektoreilla, kuten hoitoalalla ja opetusalan rakennuksissa puurunkoisten rakennuslupien määrä on rakennusten tilavuutta tarkasteltaessa kasvanut, vaikka kokonaisuudessaan lupakuutioita on molemmissa tapauksissa myönnetty edellisvuosia vähemmän. (Puuinfo 2018).

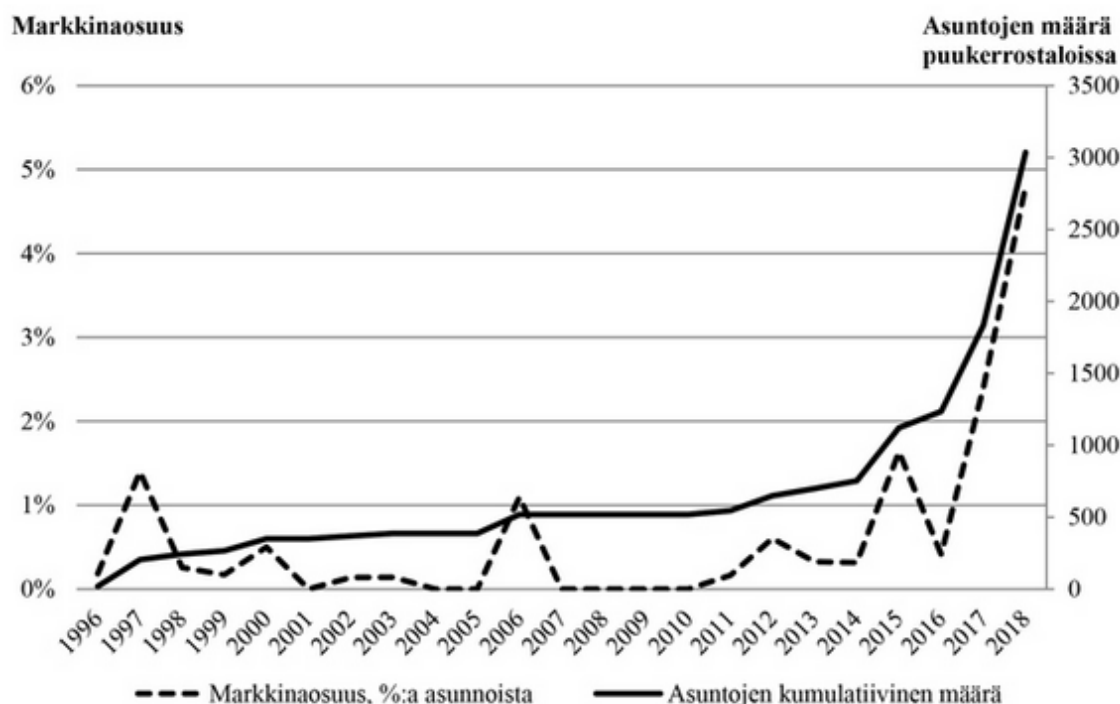
Kerrostalojen rakentaminen on asuntoaloituksilla mitattuna kasvanut merkittävästi viime vuosina. Vuonna 2017 asuntoaloituksia oli kerrostaloasunnoissa 34722 kappaletta. (Rakennusteollisuus 2018). Kuvassa 1 on esitetty asuntoaloitukset asuntojen lukumäärinä talotyypeittäin Suomessa.

### Asuntoaloitukset talotyypeittäin



**Kuva 1.** Asuntoaloitukset talotyypeittäin Suomessa (Rakennusteollisuus 2018).

Puukerrostalojen osuus kerrostaloista pyöristyi Puuinfon (2018) mukaan sekä kuutiometreillä että asuntojen lukumäärällä mitattuna neljään prosenttiin vuonna 2017. Kuvassa 2 on esitetty puukerrostaloissa olevien asuntojen markkinaosuus kerrostaloasunnoista ja asuntojen määrä puukerrostaloissa, vuosina 1996–2018. Kuva 2 on vuodelta 2017, joten vuoden 2018 asuntojen määrä puukerrostaloissa on odotettu arvio. (Hurmekoski & Korhonen 2017).



**Kuva 2.** Asuntojen määrä puukerrostaloissa (Hurmekoski & Korhonen 2017). Kuvan alkuperäinen lähde Puuinfo ja Tilastokeskus.

Kerrostaloasuntojen aloitettujen asuntojen määrä on ollut reippaassa kasvussa viime vuosina (Rakennusteollisuus 2018). Puukerrostalojen määrä näyttää kasvattaneen markkinaosuuttaan (Hurmekoski & Korhonen 2017). Puun osuuden kasvu näkyy myönteisissä rakennusluvuissa. Puukerrostalojen kokonaistilavuuden kasvu rakennusluvuissa on ollut 9% vuonna 2017 (Puuinfo 2018).

2018 lokakuussa päivitetty tilanne suomalaisten yli 2-kerroksisten asuinpuukerrostalojen osalta kertoo, että valmistuneita asuinpuukerrostaloja on tehty yhteensä 65 kappaletta. Näissä puukerrostaloissa on yhteensä 1673 asuntoa. Uusia puukerrostalojen aloituksia on vuonna 2018 noin 1300 puukerrostaloasunnon verran. Kaavoitus-, tontinluovutus tai suunnitteluvaiheessa olevia puukerrostaloasuntoja on yhteensä noin 6000. (Karjalainen 2018).

Karjalainen (2017) on tehnyt vuonna 2017 mittavan asukas- ja rakennuttajakyselyn puukerrostaloissa asuville asukkaille ja puukerrostalojen rakennuttajille. Asukaskyselyiden mukaan puukerrostaloissa koettiin olevan hyvä sisäilma ja häiritsevät äänet koettiin vähäisemmiksi kuin kivitaloissa. Puukerrostaloissa pidettiin viihtyisyydestä ja kauneudesta, sekä lämmينhenkisyyttä ja kodikkuutta arvostettiin. Puukerrostaloissa arvostettiin ekologisuu-  
 Tyytyväisiä asukkaat ovat olleet rakennuksen yleisilmeeseen ja arkkitehtuuriin, asunnon toimivuuteen, asunnon sijaintiin rakennuksessa ja rakennuksen lähiympäristöön. Puuta haluttaisiin pintamateriaaleihin näkyviin sisätiloissa. Kyselyn perusteella raken-

nuksissa toivottiin eniten käytettävän puuta erityisesti asunnon sisällä lattioissa, rakennuksen julkisivuissa ja parvekkeissa. Asukaskyselyissä löytyi myös mainintoja ja toiveita siitä, että tehtäisiin enemmän puukerrostaloja. Ääneneristysasiat olivat puukerrostaloissa pääasiassa hyviä. Arvioitaessa asukkailta heidän asuntonsa kaikkein häiritsevintä ääntä, eniten vastauksia sai ylänaapurista tulevat askeläänet. Lisäksi rakenteista kuuluvat äänet, kuten kuivumisen aiheuttama pauke ja pakkasen aiheuttama pauke huomioitiin. Asukaskyselyjen pohjalta kävi ilmi, että ääneneristykseen pitäisi satsata enemmän. Paloturvallisuus arvelutti joitain asukkaita, mutta toiset kokivat paloturvallisuuden hyväksi ja sprinklerit turvallisiksi. (Karjalainen 2017).

Puukerrostalot ovat olleet aikaisemmin täysin uusi tuote ja se on herättänyt epävarmuutta ostajissa. Toisaalta asunnontarvitsijan näkökulmasta materiaali on vain yksi valintaan vaikuttava tekijä muiden tekijöiden joukossa. (Viljakainen 1998, s.78). Viljakainen (1998, s.27) toteaa, että puurakentamista kohtaan todennäköisesti tunnetaan ennakkoluuloja ja epäilee, että ennakkoluulot saattaisivat olla peräisin aiemmin tehdyistä huonoista ratkaisuista.

ARA:n hyväksymä hinta rakennuskustannuksille oli vuonna 2017 ilman maapohjakustannuksia ja liittymismaksuja koko maassa noin 3000-3300€/asm<sup>2</sup>. ARA:n hyväksymät hinnat rakennuskustannuksille ovat pääkaupunkiseudulla hieman edellä mainittua korkeammat ja muussa maassa sekä muissa kasvukeskuksissa Suomessa hieman edellä mainittua matalammat. (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus 2018).

Puurakentaminen on ajankohtainen aihe rakentamisessa. Puurakentamista tuetaan esimerkiksi kaupunkien puolelta siten, että kaavoituksessa ja tontinluovutuksissa varataan tontteja puurakentamista varten. Esimerkiksi Tampereen kaupungin (2018) tonttihakujohjelmoinnissa on useana vuonna tavoitteena tukea puurakentamista eri kaupunginosissa. Myös tontinluovutuskilpailuiden yhteydessä on esillä yhteisöllisyyden ja energiapositivisuuden lisäksi puurakentaminen (Tampereen kaupunki 2018).

Rakennejärjestelmien ja muidenkin materiaalien osalta asuntorakentamisessa valinnat tekee rakennuttaja tai rakentaja (Viljakainen 1998, s.16). Tämän takia on hyvä pohtia omaperusteisessa asuntotuotannossa eri mahdollisuuksia toteuttaa puukerrostaloja. Kuten Tampereen kaupungin (2018) tonttihakujohjelmoinnissakin on esillä, on omaperusteista asuntotuotantoa tekevällä yrityksellä mahdollisuus osallistua huomattavasti useampiin tonttihakuihin puukerrostalorakentamiseen ryhtymällä.

Tämä tutkimus pureutuu tarkemmin puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan ja puukerrostalojen toteutukseen liittyviin asioihin. Tutkimuksessa mietitään, millaiset asiat vaikuttavat puukerrostalon rakentamiseen, rakennejärjestelmään sekä rakennejärjestelmän valintaan. Tutkimuksessa esitellään nykyisellään Suomessa käytössä olevat puukerrostalojen rakennejärjestelmät ja käsitellään niiden toteutukseen liittyviä asioita. Hankit-

tua tietoa hyödyntäen selvitetään ja näytetään esimerkinomaisesti kohdeyrityksen tyyppitalolla, mitkä tekijät vaikuttavat sekä miten ne vaikuttavat puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan. Kohdeyrityksenä on T2H Pirkanmaa Oy. Esimerkkikohteena käytetään kohdeyrityksen tuotannosta olevaa Asunto Oy Tampereen Gabroa. Asunto Oy Tampereen Gabron pohjapiirustus noudattelee pitkälti kohdeyrityksen tyyppillistä tuotantoa ja sopii tässä tutkimuksessa tyyppitaloksi ja esimerkkikohteeksi. Ihania koteja-konsepti on kohdeyrityksen asuntokonsepti. Tutkimuksen tuotoksena esitetään ehdotus kohdeyrityksen asuntokonseptiin soveltuvasta puukerrostalon rakennejärjestelmän valinnasta. Tutkimus on lähtöisin todellisesta tarpeesta. Kohdeyrityksellä on varauksessa tontti Tampereen Vuoreksessa, johon yrityksen tulee rakentaa puukerrostalo.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mikä rakennejärjestelmä valitaan kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisen asuinpuukerrostalon rakentamiseen. Tutkimuksessa selvitetään, minkälaisia rakennejärjestelmiä puukerrostalojen rakentamisessa voidaan käyttää. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään eri rakennejärjestelmien toteutukseen liittyviä asioita. Tutkimuksessa mietitään, miten asuntokonsepti ja sen ominaisuudet kohdeyrityksen tapauksessa vaikuttavat puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan. Tutkimuksen tuotoksena esitetään ehdotus kohdeyrityksen asuntokonseptiin soveltuvasta puukerrostalon rakennejärjestelmästä.

Tutkimuksen pääkysymykseksi asetetaan, minkälainen rakennejärjestelmä valitaan kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisesti rakennettuun puukerrostaloon. Alatutkimusongelmat liittyvät puurakentamisen tilaan ja kehitykseen Suomessa, puurakentamisen ominaisuuksiin ja määräyksiin, puukerrostalojen rakennejärjestelmiin ja niiden toteutukseen, kohdeyrityksen asuntokonseptiin, sekä niihin asioihin ja tekijöihin, jotka vaikuttavat puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan.

Pääkysymys purkautuu useampiin alatutkimusongelmiin, joiden avulla selvitetään tausta rakennejärjestelmän valintaan sekä toteutukseen ja näihin liittyviin tekijöihin. Alatutkimusongelmien ratkaisemisen avulla asiat voidaan esittää yleisessä muodossa teoriaan ja haastatteluihin pohjautuen. Tutkimuksen tuotoksena oleva ehdotus rakennejärjestelmän valinnasta kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisessa puukerrostalossa toimii hyvänä sovelluksena ja esimerkkinä tutkimuksessa kerätyn tiedon pohjalta tehdyille teorialle.

## 1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus rajattiin koskemaan puurakenteisia asuinpuukerrostaloja uudisrakentamisessa. Tutkimuksessa käsitellään asuinpuukerrostaloja, joiden kantavina rakenteina on pääasiassa puurakenteet. Tässä diplomityössä puukerrostalolla tarkoitetaan P2-paloluokassa olevaa, ainakin osaltaan yli kaksikerroksista kerrostalorakennusta, jossa kantava runko ja

julkisivut ovat pääasiassa puuta. Diplomityössä ei käsitellä olemassa olevan kerrostalon katolle rakennettavia puurakenteisia lisäkerroksia. Tutkimuksessa hankitun, rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaviin tekijöihin liittyvän tiedon esimerkinomainen sovellus tehdään kohdeyrityksen tyyppitaloa esimerkkikohteena käyttäen.

## 1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus on luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Tutkimuksessa ei ole ennalta asetettu hypoteeseja vaan puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan ja toteutukseen liittyviä asioita tarkastellaan monitahoisesti. Kvalitatiivinen tutkimus on tyypillisesti luonteeltaan kokonaisvaltaista tiedon hankintaa. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa ollaan usein kiinnostuneita asioista, joita ei voida mitata määrällisesti. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa on lähtökohtana monitahoinen ja yksityiskohtainen aineiston tarkastelu. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa suositetaan laadullisten metodien käyttöä aineiston hankinnassa. Esimerkiksi teemahaastattelut mahdollistavat erilaisten näkökulmien esille pääsemisen. (Hirsjärvi et al. 2009, s.164). Hypoteesittomuus laadullisessa tutkimuksessa tarkoittaa, että tutkijalla ei ole ennalta lukkoon lyötyjä olettamuksia tutkimuskohteesta tai tutkimustuloksista (Eskola & Suoranta 2001, s.19).

Tutkimusmenetelminä käytetään tutkimuksessa kirjallisuustutkimusta sekä haastatteluja. Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitetään teoreettinen perusta puukerrostalorakentamiselle. Puukerrostalojen erilaisista rakennejärjestelmäratkaisuksista ja niiden toteutuksesta on kirjoitettu kirjallisuutta. Lisäksi rakentamismääräyksistä ja puurakenteisiin liittyvistä ominaisuuksista on saatavissa kirjallisuutta. Edellä mainittuihin asioihin paneudutaan kirjallisuustutkimusta tutkimusmenetelmänä käyttäen.

Tässä tutkimuksessa esimerkiksi haastattelujen avulla pyritään selvittämään, mitkä asiat ja tekijät vaikuttavat puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan ja mitkä ovat rakennejärjestelmien toteutukseen liittyviä hyötyjä ja haasteita. Haastattelujen avulla lisäksi pyritään saamaan tietoa puukerrostalorakentamisen nykytilasta, tulevaisuudesta ja rakennusalan muutostarpeista puurakentamisen kilpailukyvyn edistämiseksi. Tutkimuksen kiinnostuksen kohteena on asiat, joita ei voida mitata määrällisesti.

Hirsjärven ja Hurmeen (2008, s.11) mukaan haastattelu toimii joustavana aineistonkeruumenetelmänä ja se sopii moniin erilaisiin lähtökohtiin. Haastattelu on valittu tutkimusmenetelmäksi mukaan joustavuutensa takia sekä siitä syystä, että esimerkiksi puukerrostalorakentamisen toteutuksesta ja toteutukseen liittyvistä näkökulmista ei ole kattavasti kirjallisuutta saatavilla. Kohdejoukko valitaan kvalitatiivisessa tutkimuksessa tarkoituksenmukaisesti (Hirsjärvi et al. 2009, s.164). Tieto puukerrostalojen toteutuksesta, rakennejärjestelmän valintaan liittyvistä tekijöistä ja kustannuksista on edelleen rakentajien, toimittajien ja puukerrostalohankkeeseen osallistuneiden osapuolten omassa tiedossa. Haasteena haastatteluissa on se, että tuloksiin sisältyy aina tulkintaa. Tulosten yleistämistä on myös syytä punnita tarkkaan (Hirsjärvi & Hurme 2008, s.12).

## 1.5 Tutkimuksen suoritus

Tutkimus on kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus. Tutkimuksessa käytetään tutkimusmenetelminä kirjallisuustutkimusta sekä haastatteluja. Haastattelut ovat luonteeltaan teemahaastatteluja, joissa keskustellaan avoimesti ja laajasti puurakentamisesta sekä eri rakennejärjestelmiin liittyvistä asioista ja puukerrostalojen toteutuksesta.

Kirjallisuustutkimuksella selvitetään puukerrostalon rakentamiseen liittyvät ominaisuudet sekä rakennusmääräykset. Kirjallisuudesta lisäksi selvitetään niitä yleisiä suunniteluun liittyviä asioita, jotka vaikuttavat olennaisesti puukerrostaloihin sekä rakennejärjestelmän valintaan. Lisäksi kirjallisuudesta selvitetään rakennejärjestelmistä sekä rakennejärjestelmien toteutukseen liittyvistä asioista ne seikat, jotka kirjallisuudesta löytyvät.

Diplomityössä haastateltiin rakennuttajia, asiantuntijoita ja puuelementtitoimittajia. Haastattelujen avulla selvitettiin eri rakennejärjestelmiin liittyviä asioita, hyötyjä ja haasteita. Lisäksi selvitettiin, miten päädyttiin valitsemaan kyseinen rakennejärjestelmä, jota kohteissa käytettiin. Haastattelujen tarkoituksena oli saada eri rakennejärjestelmien valintaan, toteutukseen, hyötyihin, kilpailuetuihin, haasteisiin, riskeihin ja hintoihin liittyvää tietoa, jota ei ole saatavilla kirjallisuudesta. Haastattelujen avulla selvitettiin myös puukerrostalorakentamisen nykytilaa, kuvaa tulevaisuudesta, sekä muutostarpeita rakennuslalla puukerrostalorakentamisen kilpailukyvyn edistämiseksi. Jokainen projekti on hieman erilainen ja niissä on omat onnistumisensa ja haasteensa ja tästä syystä haastatelluilla onnistutaan saamaan tietoa, jota ei kirjallisuuteen ole päätynt. Toisaalta haastattelujen ongelmana on se, että haastateltavana on aina ihminen, joten on riski, että subjektiiviset näkemykset vaikuttavat tuloksiin. Haastateltaviksi henkilöiksi valittiin seitsemän puurakentamisen taustan omaavaa henkilöä, jotka ovat toimineet puurakentamisen kanssa jo pidempään. Haastattelut suoritettiin yksilöhaastatteluina kasvotusten, puhelimitse ja Skypeä käyttäen. Haastateltavat esiintyvät anonymoine. Haastattelujen tulokset on esitelty työssä siten, että haastateltavat on numeroitu H1–H7. Haastateltavien kertomien asioiden perään on laitettu viitteeksi H1–H7, riippuen haastateltavan numerosta.

## **2. PUUKERROSTALORAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT OMINAISUUDET JA RAKENTAMISMÄÄRÄYKSET**

### **2.1 Rakentamismääräykset**

Puukerrostalojen kantavien ja jäykistävien rakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttaa ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. Rakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että niillä on riittävä lujuus ja vakaus koko suunnitellun käyttöiän ajan. (477/2014). Ympäristöministeriö on lisäksi julkaissut rakenteiden lujuuden ja vakauden osalta ohjeet, jotka antavat lisätietoa puurakenteiden suunnitteluun ja toteutukseen, kun puurakenteet suunnitellaan standardin SFS-EN 1995 mukaan ja niitä koskevien Suomen kansallisten liitteiden mukaisesti sekä toteutetaan SFS 5978 standardin mukaisesti (Ympäristöministeriö 2016).

Standardi SFS-EN 1990 käsittelee rakenteiden suunnitteluperusteita. Standardi SFS-EN 1991 eli Eurokoodi 1 käsittelee rakenteiden kuormia. Standardi SFS-EN 1995 eli Eurokoodi 5 koskee puurakenteiden suunnittelua. Standardi SFS 5978 käsittelee puurakenteiden toteuttamista.

Vuoden 2018 alussa voimaan tullut ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) korvaa vanhan rakentamismääräyskokoelman osan C1 Äänieristys ja meluntorjunta rakennuksessa - määräykset ja ohjeet 1998, sekä osan D2 osalta määräykset taloteknisten laitteiden sallittavista äänitasoista (Ympäristöministeriö 2017). Lisäksi puukerrostalojen rakentamiseen vaikuttaa ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017).

Ennen puukerrostalorakentamiseen vahvasti liittyi rakentamismääräyskokoelman osa E1 eli rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2011. E1 korvattiin 1.1.2018 ympäristöministeriön asetuksella rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017). (Ympäristöministeriö 2017).

### **2.2 Akustiikka ja ääneneristys**

Siikasen (2016, s.169) mukaan puurakenteiden heikkoutena usein pidetään heikkoa ääneneristävyyttä. Todellisuudessa puurakenteillakin on helposti ja yksinkertaisilla tavoilla toteutettavissa hyvä tai jopa erittäin hyvä ääneneristys (Siikanen 2016, s.169). Puurakennuksissa tyypillisesti riittävä ääneneristys saavutetaan sillä, että käytetään monikerrosrakenteita (Tolppanen et al. 2013, s.158). Siikasen (2016, s.172) mukaan yleisesti käsite-



tään, että paras ääneneristys on massiivisilla kiviaineisilla seinämillä. Teoreettiset laskelmat sekä käytäntö ovat kuitenkin pystyneet osoittamaan, että massasta riippumatta kaksitai monikerroksisilla seinärakenteilla voidaan helposti päästä parempiin ilmaääneneristysarvoihin kuin massiivirakenteilla.

Ääni siirtyy tilasta toiseen useata reittiä. Ääni voi siirtyä suoraan seinän läpi, mutta se voi siirtyä myös sivutiesiirtymänä esimerkiksi muiden rakennusosien, ilmanvaihtokanavien, ikkunoiden välityksellä. Sivutiesiirtymien huomiointi suunnittelussa on tärkeää ja ne tulee mahdollisuuksien mukaan estää, sillä sivutiesiirtymät saattavat heikentää merkittävästi seinien ilmaääneneristystä. Hyvin ääntä eristävillä seinillä on tärkeää tehdä ja tiivistää liitokset huolellisesti ääniteknisillä saumoilla, jotta sivutiesiirtymät voidaan estää. (Siikanen 2016, s.171, 180)

Kerroksellisten levypintaisten sivuavien rakenteiden aiheuttamat sivutiesiirtymät jäävät usein vähäisiksi. Tämä johtuu siitä, että levypintaissa rakenteissa ääntä säteilee niukasti, sillä niiden äänen säteilykerroin on pieni. Puurakenteet ovat ääniteknisesti joustavia rakenteita. Rakenteiden liitokset ovat kerroksellisissa kevyissä levyrakenteissa joustavia. Puurakenteissa mekaanisilla liittimillä tehty liitokset ovat joustavia, sekä rakenteiden liittymissä on lähes aina sauma, joka katkaisee rakenteen jatkuvuuden. Joustavat liitokset sekä katkoja sisältävät liittymät vähentävät sivutiesiirtymän vaikutusta. Joustavat liitokset eivät välitä värähtelyä eteenpäin samalla tavalla kuin jäykät liitokset. Kerroksellisen kevyen levyrakenteen ääneneristävyys perustuu jousi-massa-yhdistelmään. (Tolppanen et al. 2013, s.158).

Kerroksellisissa kevyissä levyrakenteissa ääneneristävyys on heikohko matalilla äänentaajuusalueilla, mutta ääneneristävyys on erittäin hyvä korkeilla äänentaajuuksilla. Askeläänieristävyys on kerroksellisilla kevyillä levyrakenteilla luonnostaan hyvä. Ääniteknikkaa suunniteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota koinsidenssi-ilmiöön, joka tavallisesti betonirakenteissa ei tule ongelmaksi. (Tolppanen et al. 2013, s.158). Lahtela (2004, s.8) kuvailee koinsidenssiä tilanteeksi, jossa teoreettinen ääretön levymäinen rakenne alkaa myötävärähdellä siihen kohdistuvasta äänestä johtuen siten, että ääni läpäisee levyrakenteen, kuitenkin vaimentuen lähinnä vain materiaalien sisäisten häviöiden vuoksi.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä äänitasoeroluvulla  $D_{nT,W}$  tarkoitetaan mittalukua, joka kuvaa huonetilojen välistä ilmaääneneristystä. Askeläänitasoluvulla  $L'_{nT,W} + C_{l,50-2500}$  tarkoitetaan mittalukua, joka kuvaa huonetilojen välistä askeläänieristystä. Keskiäänitasolla  $L_{Aeq,T}$  tarkoitetaan mittalukua, joka kuvaa muuta kuin tilapäistä äänen melun voimakkuutta huonetilassa tai ulkotilassa. Esimerkiksi taloteknisten laitteiden ääni on jatkuvaa, eikä tilapäistä. Jälkikaiunta-ajalla  $T$  tarkoitetaan sellaista mittalukua, joka kuvaa huonetilan kaiuntaisuutta. Runkoääni tarkoittaa rakenteen tai muun kiinteän kappaleen melua aiheuttavaa mekaanista värähtelyä. Tärinällä tarkoitetaan ihmisen havaitsemaa häiritsevää mekaanista värähtelyä. (796/2017).

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä annetaan vaatimuksia eri rakenteiden ilmaääneneristysten ja askeläänieristysten arvoille. Asuntojen välillä pienin sallittu äänitasoeroluku  $D_{nT,W}$  on 55dB. Asuntojen välillä askeläänieristysten suunnittelussa ja toteutuksessa suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{nT,W}+C_{1,50-2500}$  on 53dB. Uloskäytävän ja asunnon välillä taas pienin sallittu äänitasoeroluku  $D_{nT,W}$  on 39dB. Uloskäytävästä asuinhuoneistoihin askeläänieristysten suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{nT,W}+C_{1,50-2500}$  on 63dB. (796/2017).

Ulkovaipan ääneneristys on taas toteutettava siten, että sen ääneneristys on vähintään 30 dB ja impulssimaisen, kapeakaistaisen tai pienitaajuisen melun keskiäänitaso ei ylitä 25 dB nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa. (796/2017). Ulkoseinien ääneneristykseen ja asuntoalueiden ääneneristystasoon on syytä kiinnittää huomiota, sillä tehtyjen asukaskyselyjen mukaan ulkoa tulevia ääniä pidetään häiritsevinä (Tolppanen et al. 2013, s.170).

Rakennuksissa hissit ja talotekniset laitteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että niiden synnyttämä äänitaso ei asuinhuoneistossa ylitä asetettuja lukuarvoja (796/2017). Seuraavassa kuvassa on esitetty lukuarvot, joita hissien ja taloteknisten laitteiden synnyttämä äänitaso ei saa ylittää.

Huone- ja ulkotila	Jatkuva laajakaistainen ääni	Impulssimainen tai kapea- kaistainen ääni		
Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisääni-taso $L_{AFmax,T}$ (dB)	Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisääni-taso $L_{AFmax,T}$ (dB)	
Asuin-, majoitus- tai potilashuone	28	33	25	30
Asunnon keittiö tai rakennuksen harrastustila	33	38	30	35
Porrashuone tai uloskäytävä	38	43	35	40
Ulkotila	45	50	40	45

**Kuva 3.** Lukuarvot, joita rakennuksen hissien ja taloteknisten laitteiden synnyttämä äänitaso ei saa ylittää (796/2017).

Rakennus on suunniteltava ja toteutettava siten, että tilassa saavutetaan riittävä puheenerotettavuus sen käyttötarkoituksen huomioon ottaen. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä asettaa jälkikaiunta-ajalle arvon 1,3 sekuntia rakennukselle, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita. (796/2017).

Välipohjarakenteet mitoitetaan ja suunnitellaan ääniteknisten asioiden lisäksi kävelystä aiheutuvalla värähtelyllä. Välipohjat voidaan värähtelyn mukaan jakaa matalataajuuslattioihin, joiden ominaistaajuus on alle 8 hertsiä ja korkeataajuuslattioihin, joiden ominaistaajuus on yli 8 hertsiä. Välipohjarakenteen värähtelymitoituksessa voidaan ottaa huomioon kaikki ne rakennekerrokset, jotka pystyvät jakamaan pistekuormia vierekkäisille välipohjakannattimille. CLT-levyllä tehdyssä välipohjassa huomioidaan esimerkiksi kaikki ne lamellikerrokset, jotka jakavat pistekuormaa levyn poikittaissuunnassa. Puubetoniliitolaatta, jossa on betonista tehty pintalaatta, on pistekuormien jakamiseen erittäin tehokas rakenne. (Tolppanen et al. 2013, s.88).

## 2.3 Palotekniikka

Rakennusosien paloteknisiin vaatimuksiin viitataan usein merkinnöillä R, joka tarkoittaa kantavuutta, E, joka tarkoittaa tiiviyyttä, I, joka tarkoittaa eristävyyttä tai EI, joka tarkoittaa tiiviyyttä ja eristävyyttä. Edellä mainittujen merkintöjen lisäksi rakennusosille ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina seuraavista luvuista: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240. Palonkestävyysaika esitetään rakennusosiin kohdistuvien vaatimusten R, E, EI, RE ja REI jälkeen. Esimerkiksi seinän palonkestoluokka voi olla REI 60, mikä tarkoittaa, että seinän on kestettävä ja täytettävä kantavuus-, eristävyys- ja tiiveysvaatimukset 60 minuutin palonkeston ajan. (Ympäristöministeriö 2017).

Rakennustarvikkeet jaetaan eri luokkiin sen mukaan, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen, leviämiseen, savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. Pääasiassa rakennustarvikkeet luokitellaan merkinnöillä A1, A2, B, C, D, E ja F. A1-luokan rakennustarvikkeet eivät osallistu lainkaan paloon. A2-luokan rakennustarvikkeet ovat tarvikkeita, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu. B-luokan rakennustarvikkeet ovat tarvikkeita, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu. C-luokan rakennustarvikkeet ovat tarvikkeita, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti. D-luokassa rakennustarvikkeiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä. E-luokassa rakennustarvikkeiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävää. F-luokkaan kuuluu ne rakennustarvikkeet, jotka eivät täytä enää E-luokan vaatimuksia. Rakennustarvikkeen savun tuotto luokitellaan luokkiin s1, s2 ja s3. Savuntuoton luokat jaetaan siten, että s1-luokassa savuntuotto on erittäin vähäistä. s2-luokassa savuntuotto on vähäistä. s3-luokkaan kuuluvat ne rakennustarvikkeet, jotka eivät täytä s1-luokan tai s2-luokan vaatimuksia. Rakennustarvikkeen palava pisarointi luokitellaan luokkiin d0, d1 ja d2. d0-luokassa tarvikkeissa ei esiinny palavia pisaroita tai osia. d1-luokassa tarvikkeiden palavat osat tai pisarat sammuvat nopeasti. d2-luokkaan kuuluvat ne tarvikkeet, jotka eivät täytä palavan pisaroinnin tai osien osalta d0-luokan tai d1-luokan vaatimuksia. Putkimaisilla lämmöneristeillä ja lattiamateriaaleilla on omat alaindeksinsä. Putkimaisten lämmöneristeiden luokissa alaindeksinä on L ja lattiamateriaaleilla FL. Muissa luokissa paitsi A1, F ja E ilmoitetaan aina lisämääreet. Jos E-luokassa ei ilmoiteta lisämäärettä, tarkoittaa se silloin, että rakennustarvikkeesta ei irtoa palavia pisaroita. Rakennustarvikkeiden luokka voi olla esimerkiksi A2-s1, d0. Tämä tarkoittaa,

että rakennustarvikkeen osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu, rakennustarvikkeen savuntuotto on erittäin vähäistä ja tarvikkeen palossa ei esiinny palavia pisaroita tai osia. (Ympäristöministeriö 2017).

Puuinfo (2012) esittelee teknisessä tiedotteessaan suuntaa antavia esimerkkejä seinä- ja kattomateriaalien paloluokituksista. Seinissä ja katoissa A1-luokkaan kuuluvat esimerkiksi kivi, betoni, tiili ja teräs. A2-luokkaan kuuluvat tietyt kipsilevyt ja sementtikuitulevyt. B-luokkaan kuuluvat tietyt kipsilevyt ja palosuojattu puu. C-luokkaan kuuluu palosuojattu puu. Yleensä puutuotteet kuuluvat paloluokkaan D. E-luokkaan kuuluvat huokoiset puukuitulevyt. F-luokkaan kuuluvat loput testaamattomat tuotteet. (Puuinfo 2012).

Puuinfo (2012) esittelee teknisessä tiedotteessaan suuntaa antavia esimerkkejä myöskin lattiamateriaalien paloluokituksista. Lattiamateriaaleissa A1<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat esimerkiksi kivi, betoni, tiili ja teräs. A2<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat tietyt kipsilevyt ja sementtikuitulevyt. B<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat PVC-pohjaiset tuotteet. C<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat esimerkiksi kovapuu sekä villamatot. Paloluokkaan D<sub>FL</sub> kuuluu yleiset puutuotteet. E<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat esimerkiksi polypropyleenimatot. F<sub>FL</sub>-luokkaan kuuluvat loput testaamattomat tuotteet. (Puuinfo 2012).

Rakennusosien suojaverhous tarkoittaa rakennusosan pinnan muodostavaa osaa. Suojaverhouksen tarkoituksena on suojata alustaansa tietty aika syttymiseltä, hiiltymiseltä ja muilta vaurioitumisilta palotilanteessa. Suojaverhousluokat ovat K<sub>230</sub> ja K<sub>210</sub>. Suojaverhousluokka yleensä ilmoitetaan tarvikeluokkamerkinän yhteydessä. Rakenteiden sisäpintojen suojaverhouksista säädetään ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen paloturvallisuudesta. P2-paloluokassa olevien yli 2-kerroksisten rakennusten pintojen tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista tehtyjä, lisättynä K<sub>210</sub>-luokan suojaverhouksella. (Ympäristöministeriö 2017).

Vuonna 2018 voimaan tulleessa ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta kevennettiin rakennuksen ulkopinnan suojaverhousvaatimuksia. Kevennyksen tarkoituksena tarjota mahdollisuus säästää rakentamiskustannuksissa. (Ympäristöministeriö 2017).

Asuinrakennukset on jaettava palo-osastoiksi huoneistoittain. Asuinrakennuksissa rakennuksen paloluokka tai kerroslukumäärä ei vaikuta huoneistoittain tapahtuvaan palo-osastointiin. Osastoivan rakennusosan kuten myös siihen liittyvien varusteiden ja laitteiden on estettävä palon leviäminen palo-osastosta toiseen palo-osastoon määritellyn ajan. (848/2017).

Nykyään rakennusten palomitoituksessa sallitaan sekä taulukkomitoitus että oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuustarkastelu eli toiminnallinen mitoitus. Toiminnallisessa palomitoituksessa palomitoitus perustuu palon kehitykseen, tilastoihin ja

ihmisten poistumisen laskennalliseen simulointiin ja todennäköisyyslaskentaan. Rakennusten lisäksi toiminnallista palomitoitusta voidaan hyödyntää myös yksittäisissä osissa, kuten esimerkiksi puisissa julkisivuissa. (Siikanen 2016, s.181)

Eri palon vaiheissa vaaditaan rakennukselta ja rakenteelta tiettyjä ominaisuuksia. Palon vaiheet ovat syttymis- ja kasvuvaihe, täysin kehittynyt palo ja sammumis- ja jäähtymisvaihe. Palon syttymis- ja kasvuvaiheessa olennaisia asioita ja rakenteellisia vaatimuksia ovat poistumistiet, rakenteiden pinnat, suojaverhoukset, tarvikkeiden palo-ominaisuudet ja savunpoistomahdollisuudet. Syttymisvaiheen kesto aika on tärkein turvallisuuteen vaikuttava asia syttymisvaiheessa. Tämän takia pintakerrosten syttymisherkkyydelle on asetettu suurimmat vaatimukset. Täysin kehittyneen palon vaiheessa tärkeitä rakenteellisia vaatimuksia taas asetetaan rakennuksen palo-osastoinnille ja kantavien rakenteiden kestävyydelle. Puiset kantavat rakenteet, kuten esimerkiksi pilarit ja palkit eivät välttämättä tarvitse erityistä palosuojauksia, jos ne palotilanteessakin säilyttävät tarvittavan kanto- ja suojaamiskyvyn määräyksissä vaaditun ajan. Vaikka puiset kantavat rakenteet voidaan jättää ilman erityistä palosuojauksia, on kaikki puurakenteisiin liittyvät teräsosat ehdottomasti suojattava, jos rakenteelle on esitetty vaatimus palonkestoajalle. Esimerkiksi teräksisille liitososille ei lasketa lainkaan palonkestoajaa. Eri teräsosien suojauksessa käytetään hyväksi mineraalivillaa, puuta, lastulevyä tai muuta vastaavaa materiaalia. (Siikanen 2016, s.182–183).

Puuinfo (2018) on laatinut ohjeet paloturvallisesta puutalosta. Ohjeet käsittelevät sekä asuin- että toimitilarakentamista. Paloturvallisen puutalon ohjeista löytyy palomääräystaulukot, joissa esitetään asuinpuukerrostaloille rakennekohtaiset vaatimukset paloturvallisuuden osalta. Lisäksi ohjeista löytyy rakenneyksityiskohtia esimerkiksi välipohjien ja seinien rakenteisiin.

Palomääräystaulukon mukaisesti rakennekohtaiset vaatimukset asuintarkoitukseen rakennettujen puukerrostalon rakenteille vaihtelevat sen mukaan onko asuinpuukerrostalo 2, 3–4 vai 5–8 kerroksinen. 5–8-kerroksisissa asuinpuukerrostaloissa on kaikista tiukimmat vaatimukset palomääräysten osalta. Määräykset asettavat vaatimuksia ja rajoitteita aktiiviselle suojaukselle, talon laajuudelle, eri rakennusosien luokille, pintaluokille, suojaverhoukselle ja täydentäville rakennusosille. (Puuinfo 2018).

Palon leviäminen tuuletusväleissä täytyy olla rajoitettu kerroksittain. Tämän lisäksi palon vaakasuuntainen leviäminen osastoiduista porrashuoneesta ulkoseinän tuuletusväliin pitää olla estetty. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen ja yli 56 metriä korkean P1-paloluokan mukaisten rakennusten lämmöneristeen tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokkaa. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen osalta ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta säädetään, että ulkoseinässä oleva lämmöneriste, joka ei eristävältä osaltaan täytä D-s2, d2-luokan mukaisia vaatimuksia, on

katkaistava enintään kahden kerroksen välein 28 metrin korkeuteen saakka. Katkaisu tapahtuu tarvikkeilla, jotka rajoittavat palon leviämisen etenemisen lämmöneristeessä. 28 metrin ylittävältä osalta katkaisu tulee tehdä kerroksittain. (848/2017).

Rakennuksessa pitää olla tarpeeksi sopivasti sijoiteltuja, riittävän väljiä ja tarpeeksi helpokulkuisia uloskäytäviä, jotta voidaan varmistaa, ettei poistumisaika rakennuksesta ole vaaraa aiheuttavan pitkä. Rakennuksen uloskäytävän tulee johtaa joko ulos maan pinnalle tai palon sattuessa jollekin toiselle turvalliselle paikalle. Uloskäytäviä ja palosulkuja ei saa rakentaa sellaisista rakennusosista tai tarvikkeista, jotka savunmuodostuksen takia vaarantavat henkilöturvallisuutta tai jotka lisäävät palokuormaa tavalla, jota ei voida pitää hyväksyttävänä. Myöskään uloskäytäviin tai palosulkuihin ei saa sijoittaa sellaisia laitteita tai asennuksia, jotka lisäävät palokuormaa tavalla, jota ei voida pitää hyväksyttävänä tai ne savunmuodostuksensa takia vaarantaisivat henkilöturvallisuutta. (848/2017).

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta helpotti puupintojen jättämistä näkyviin erityisesti P2-paloluokan yli 2-kerroksisissa rakennuksissa. Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta kirjoitetaan:

*”P2-paloluokan yli 2-kerroksisen rakennuksen sisäpuolisten pintojen, pois lukien uloskäytävän ja palosulun pinnat, on oltava varustettuja vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista tehdyllä vähintään K2 30 -luokan suojaverhouksella. Suojaverhousta ei kuitenkaan edellytetä rakennusosilta, jotka on tehty vähäisiä rakenteen osia lukuun ottamatta vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeista eikä palo-osaston ei-kantavilta sisäisiltä väliseiniltä. Suojaverhousta ei myöskään edellytetä seinän tai katon pinnoilta, kun niiden yhteenlaskettu osuus palo-osaston kantavien -, osastoivien - ja ulkoseinien sekä katon kokonaispinta-alasta on:*

- 1) enintään 20 prosenttia;
- 2) yli 20 prosenttia, mutta enintään 80 prosenttia ja kantavien ja osastoivien rakennusosien palonkestävyysaikaa on pidennetty 30 minuutilla;
- 3) yli 80 prosenttia ja kantavien ja osastoivien rakennusosien palonkestävyysaikaa on pidennetty 60 minuutilla.”. (848/2017).

## 2.4 Energiatehokkuus

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta pykälässä 3 sanotaan seuraavasti:

*”Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava uuden rakennuksen suunnittelusta siten, että se käyttötarkoituksensa mukaisesti on:*

- 1) energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen;

- 2) on rakennuksen lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova;
- 3) on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytönmittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholtaan.”. (1010/2017).

Rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) vaatimustasot ovat jaettu käyttötarkoitukseluokittain. Yhden käyttötarkoituksen rakennus voidaan laskea yhtenä laskentavyöhykkeenä E-luvun laskennassa. Kun rakennuksen käyttötarkoitukseluokka on asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa, on E-luvun raja-arvo 90kWh/(m<sup>2</sup>a). E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallista ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohti vuodessa. (1010/2017). Kaukolämmön energiamuodon kerroin on 0,5, uusiutuvien polttoaineiden, kuten esimerkiksi puun kerroin on 0,5, fossiilisten polttoaineiden kerroin on 1,0 ja sähkön kerroin on 1,2 (788/2017).

E-luvun laskennassa laskentamenetelmän täytyy huomioida seuraavaksi mainittujen tekijöiden lisäksi useita eri tekijöitä, joita ei kaikkia tässä luvussa esitellä. Loput tekijät voi tarkistaa ympäristöministeriön asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. E-luvun laskentamenetelmä ottaa huomioon esimerkiksi rakennusosien ja niiden liitosten lämpöominaisuudet, rakennuksen ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon ilmavirran, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton sekä tilojen ja ilmanvaihtojärjestelmien lämpö- ja sähköenergian tarpeen. Lisäksi laskentamenetelmä huomioi esimerkiksi aurinkopaneelien sähkön tuoton ja sen hyödyntämisen rakennuksessa. (1010/2017). Rakennuksen tarkastelu kokonaisuutena mahdollistaa kokonaisvaltaisen suunnittelun, jossa rakennuksen energiatehokkuuteen pystytään vaikuttamaan suunnittelun keinoin. Suunnittelulla voidaan parantaa energiatehokkuutta esimerkiksi rakennuksen massoittelulla, aukotuksilla ja aurinkosuojilla, kuten myös ohjattavilla teknisillä järjestelmillä, valitsemalla joko omavarainen tai uusiutuva energia ja minimoimalla kylmäsiilat. (Tolppanen et al. 2013, s.121).

Rakenteiden, rakennuksen energiatehokkuuden sekä rakennuksen käyttäjien kannalta on tärkeää, että rakenteet ovat niin ilmanpitäviä, että ilmavirtaukset, jotka kulkevat vuoto-kohtien läpi, eivät aiheutta merkittäviä haittoja. Tarvittaessa tulee rakenteisiin tehdä erillinen ilmansulku. Suunnittelussa sekä rakentamisessa on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden liitoksiin sekä läpivienteihin. (Siikanen 2016, s.142).

## 2.5 Kosteustekniikka

Normaalioloissa ympäröivä ilma, kaikki huokoiset materiaalit sekä rakenteet sisältävät jonkin verran kosteutta. Kosteuden määrä materiaalissa ja rakenteissa riippuu materiaalin ominaisuuksista sekä ympäröivän ilman kosteudesta ja lämpötilasta. Puu itsessään huokoisena aineena sisältää aina jonkin verran kosteutta. Rakennekosteudella tarkoitetaan

sellaista kosteutta, joka on varastoinnin tai rakentamisen aikana rakennusaineisiin ja tarvikkeisiin joutunutta ylimääräistä kosteutta. Puutavara on syytä sekä varastoitaessa että rakentamisen aikana säilyttää kuivana, jotta liiallinen kosteus ei aiheuttaisi hometta tai lahovaurioita. Kosteus täytyy huomioida myös siitä syystä, että kun myöhemmin puu kuivaessaan kutistuu, voivat rakenteet liikkua ja tulla epätiiviiksi, jos liikkeet tai kutistumat ovat isoja. Suurin syy puisten rakennustarvikkeiden kastumiseen on se, että niitä varastoidaan ulkotiloissa suojaamattomina tai vain kevyesti peitteillä suojattuina. Rakennustarvikkeet tulee suojata hyvin myös kuljetusten ajaksi. (Siikanen 2016, s.158, 164–165).

Puurungossa esiintyy painumia pystysuorassa suunnassa. Nykyisillä tavoilla rakentaa puukerrostalon rungon painumaksi on arvioitu 2–5 mm kerrosta kohti. Rungon painuminen johtuu yleensä runkopuutavaran kuivumiskutistumasta, kuormituksen aiheuttamasta puun virumasta sekä puuosien välisten liitosten tiivistymisestä. Puuosien väliset liitokset tulee tehdä niin tiiviiksi kuin mahdollista. Tolppanen et al. (2013, s.88) suosittelevat käytettäväksi mittatarkkoja insinööripuutuotteita liitosten tiiviiden vuoksi. Vaativissa kohteissa suositellaan käytettäväksi LVL-tuotteita tai CLT-tuotteita, sillä ne ovat ristiviilutettuja. Tällöin rungon painuminen on pienempää. Rungossa käytettävän puutavaran tulisi olla mahdollisimman kuivaa, jotta kuivumiskutistuman aiheuttamat muodonmuutokset jäisivät mahdollisimman pieniksi. Rungon painuminen pitää huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen runko pitää suunnitella siten, että se painuu kaikkialta mahdollisimman tasaisesti. Painumat tulee huomioida erityisesti silloin, kun painuviin rakenteisiin liittyy muita rakenteita, kuten vaikkapa parvekkeita, hissikuiluja, porrashuoneita tai viemäreitä. (Tolppanen et al. 2013, s.87–88).

Jos rakennuksen kuivumista halutaan nopeuttaa lämpötilaa nostamalla, kannattaa välttää sellaisia seinärakenteita, joissa on muovisen höyrynsulun sisäpuolella lisälämmöneriste. Mikäli rakennusaikana yritetään nopeuttaa rakennuksen kuivumista lämpötilaa nostamalla, on riskinä se, että rakennusaikainen suuri suhteellinen kosteus ja normaalia korkeampi lämpötila saattavat johtaa kosteuden tiivistymiseen höyrynsulun sisäpinnan puolelle. Tämä aiheuttaa vaaran rakenteiden kastumiselle. (Siikanen 2016, s.164–165).

Käytännössä hengittävällä rakenteella tarkoitetaan sellaista rakennetta, johon kosteus-kuormituksen aikana siirtyy huoneilmasta vesihöyryä, joka sitoutuu siihen hygroskooppisena kosteutena. Kun kosteuskuormitus lakkaa, niin huoneilma kuivuu nopeasti hengittävän rakenteen ansiosta. (Siikanen 2016, s.166).

## 2.6 Jännemitat

Puukerrostaloihin tulevia tiloja suunniteltaessa merkityksellistä on tietää, minkälaisiin jänneväleihin milläkin ratkaisulla päästään. Jänneväleihin vaikuttaa esimerkiksi ominaistajuus, ominaisvärähtelyt sekä taipumat. Taipuma kuitenkin käytännössä mitoittaa välipohjan korkeutta vain alle 4,5 metrin jänneväleissä. Tätä suuremmissa jänneväleissä värähtelyn ominaistajuusehto mitoittaa välipohjan korkeutta. (Kryssi 2014).



Tolppasen et al. (2013, s.86) mukaan taipuma ja värähtely ovat usein vaakarakenteissa mitoitusta määrääviä tekijöitä. Eurokoodin mukaiset värähtelymitoituksen kriteerit liittyvät välipohjan ominaistajuuteen, sekä välipohjan hetkelliseen taipumaan 1kN staattisella pistekuormalla (Tolppanen et al. 2013, s.89).

## 2.7 Jäykistäminen

Betonirakenteisten talojen jäykistyksessä betonirakenteinen välipohja on jäykistysteknisesti jatkuva yhtenäinen taso, joka siirtää vaakakuormat jäykistäville pystyrakenteille. Puukerrostalojen jäykistäminen eroaa siinä betonirakenteisesta talosta, että puurakenteinen välipohja katkaistaan ääniteknisistä ja värähtelyteknisistä syistä jokaisen huoneiston välisen seinän kohdalla. Puukerrostalon välipohjaa ei siis voida pitää täysin jäykkänä koko rakennuksen kokoisena laattana. (Tolppanen et al. 2013, s.90).

Asuinpuukerrostaloissa jokainen huoneisto muodostaa oman jäykistyssysteemin. Jäykistyssysteemit puukerrostaloissa liitetään toisiinsa pistemäisesti siten, että rakennusta kuormittavat vaakakuormat jakautuvat eri huoneistoille. Puukerrostalossa pitää huomioida se, että jäykistävältä välipohjalta voi siirtyä jäykistävälle pystyrakenteelle ainoastaan sellaiset voimat, jotka niiden välinen liitos pystyy välittämään. Puukerrostalon jäykistävänä rakenneosana toimii usein välipohjan kansirakenne. Välipohjan kansirakenne on joko puulevyistä tehty tai puubetoniliittolaatta, jolloin kyseessä on betonirakenteinen välipohjan kansirakenne. Jotta rakennukselle tulevat vaakavoimat voidaan luotettavasti siirtää välipohjalta jäykistäville pystyrakenteille, on syytä kiinnittää huomiota välipohjan ja pystyrakenteiden liittymän suunnitteluun. (Tolppanen et al. 2013, s.90–92).

Tyypillisesti asuinkeuhkerootaloissa melkein kaikki kantavat ulkoseinät sekä huoneistojen väliset seinät toimivat jäykistävinä rakenteina. Jäykistuksen kannalta on edullista, mikäli talon runko on poikittaissuunnassa mahdollisimman syvä, sillä tällöin jäykistäivistä seinistä saadaan pidempiä. Rakennuksen jäykistävät pystyrakenteet sijoitetaan kaikissa kerroksissa päällekkäin, jotta rakennusta kuormittavat vaak- ja pystykuormat saadaan vietyä suoraviivaisesti perustuksille. Kun jäykistävät seinät ovat pitkiä, pystytään seinien ankkurivoimia minimoimaan. Lisäksi seinien ankkurivoimaa voidaan pienentää myös suunnittelulla siten, että rakennuksen vaakarakenteet suunnitellaan välittämään jäykistäville pystyrakenteille mahdollisimman paljon omia painoja. Ankkurointivoimien minimointi ja suunnittelu siten, että ankkurointitarvetta ei synny on suositeltavaa, sillä ankkurirakenteet tyypillisesti ovat kustannuksiltaan merkittäviä. (Tolppanen et al. 2013, s.90–93).

Jäykistävissä rankaseinissä jäykistävänä rakenneosana toimii usein rakennuslevy. Massiivipuiset CLT-levystä tehdyt seinät taas toimivat itsessään sekä kantavana, että jäykistävänä rakenteena. Pilari-palkkijärjestelmässä pilarit voivat toimia mastopilareina, joille rakennukselle tulevat vaakakuormat välitetään palkkien avulla. (Tolppanen et al. 2013, s.92).

## 2.8 RunkoPES 2.0

RunkoPES on avoin puuelementtistandardi, jonka tarkoituksena on vakioida puuelementtirakentamista asuntotuotannossa. RunkoPES vakioi ulkoseinäelementin runkorakenteen, suurelementtien kiinnityksen, suurelementtien liittymien geometrian, rakenneosien mitanjärjestelmät, valmistustarkkuudet sekä esimerkiksi moduuliviivastot ja mallielementtikaaviot. RunkoPES käsittelee rakennetyyppiratkaisuja sekä liittymädetaljiratkaisuja. Esi-tetyt rakenneratkaisut ei ole sidottu minkään toimittajan tuotteisiin, vaan rakenneratkaisut ovat periaatteellisia. Periaatteellisten rakenneratkaisuiden pohjalta yritysten on mahdollista kehittää omia järjestelmiään sekä yksityiskohtaisia ratkaisujaan. Tarkoituksena on, että rakennus voidaan suunnitella ilman, että määritellään kuka rakennuksen toteuttaa tai minkä toimittajan ratkaisuja siinä käytetään. RunkoPES ei yksinään riitä, vaan erikseen täytyy tapauskohtaisesti mitoittaa kantavat rakenneosat sekä liitokset kuten myös palo-, ääni- ja kosteustekninen toiminta. (Puuinfo 2015). RunkoPES 2.0 ei vielä ole päivitetty vastaamaan vuoden 2018 alussa voimaan tullutta asetusta rakennusten paloturvallisuudesta.

RunkoPES vakioi useita asioita, mutta se silti mahdollistaa esimerkiksi erilaisten rakennepaksuuksien, kerroskorkeuden ja rakennetyyppien valinnan vapaasti, sillä ehdolla, että RunkoPES:issä esitettyjä liittymien geometrioita noudatetaan. Liittymien geometrioiden noudattaminen mahdollistaa liittymien tiivistämisen ja yksinkertaisen kuormien johtamisen perustuksille. RunkoPES:issä elementtien valmiusaste on valittavissa jopa valmiiseen elementtijärjestelmään asti, joka on yksinkertainen asentaa. (Puuinfo 2015).

RunkoPES:in mukaisesti elementtien liittymien vakiointi sekä liittymien geometrian vakiointi tähtäävät siihen, että puurakentamiseen liittyviä haasteita pystytään helpottamaan. Vakiointi mahdollistaa esimerkiksi mahdollisimman korkean esivalmistusasteen, työmaavaiheen nopean toteutuksen elementtien asennuksen helppouden takia, yksinkertaisen elementtien saumojen tiivistämisen, vähäiset ulkopuolelta tehtävät kiinnitykset, yksinkertaiset liitostavat ja vakioidut liittimet, liitosten lujuuden ja kuormien yksinkertaisen ja suoraviivaisen välittymisen liitoksissa sekä ilmatiiviin ja kosteusteknisesti turvallisen rakennuksen. RunkoPES:in periaatteelliset ratkaisut eivät ohjaa yksittäisen toteuttajan tai toimittajan valintaan vaan eri valmistajilla on yhdenvertaiset mahdollisuudet tarjota ja kehittää omia järjestelmiään ja ratkaisujaan. (Puuinfo 2015).

RunkoPES soveltuu sekä kerrostaloihin että pientaloihin käytettäväksi rakentamismääräysten mukaisesti. RunkoPES:in määritelmät ovat pääasiassa suurelementteihin kohdistettuja, mutta näitä määritelmiä pystytään soveltamaan myös tilaelementeissä sekä eikantavissa rakenteissa. Yhtenäinen RunkoPES mahdollistaa paremmat hankintamahdollisuudet puurakenteisien rakennusten tilaajille. RunkoPES rakennetyyppiratkaisut eivät sido yhteen valmistajaan, mikä parantaa kilpailuttamismahdollisuuksia. RunkoPES:in tarkoituksena on mahdollistaa myös se, että eri valmistajien ratkaisut ovat tarvittaessa helposti liitettävissä toisiinsa sekä työmaalla, että suunnittelussa. Lisäksi RunkoPES:in

ansioista puurakennusten suunnittelu sekä suunnittelun tilaaminen helpottuvat. RunkoPES luo yhtenäiset kriteerit suunnittelun sekä toteutuksen laadulle. RunkoPES mahdollistaa puurakentamisen laadun parantamisen sekä paremman laadunhallinnan. RunkoPES:issä esitellään yhteisiä toimintatapoja puuelementtien toimitussisältöjen ja sopimusehtojen suhteen. RunkoPES:in ansiosta työmaan rakennusvaihe nopeutuu. (Tolppanen et al. 2013, s.36; Puuinfo 2015).

## 2.9 Talotekniikka

Tässä luvussa käydään läpi perusasioita koskien taloteknisiä järjestelmiä erityisesti puukerrostalojen näkökulmasta. Luvussa nojaututaan Tolppasen et al. (2013) kirjaan Suomalainen puukerrostalo: rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen, Siikasen (2016) kirjaan Puurakentaminen, sekä ympäristöministeriön asetuksiin. Myös Puuinfon (2018) sivuilla julkaistua tietoa puukerrostalojen LVIS-järjestelmistä hyödynnetään luvussa.

Luvussa käydään läpi ne periaatteet, joilla LVIS-järjestelmät kuljetetaan ja asennetaan rakennuksessa. Lisäksi käydään läpi yleispiirteitä lämpö-, vesi- ja viemäri-, ilmanvaihto- ja sähköjärjestelmistä. Luvussa käsitellään myös puukerrostaloihin olennaisesti liittyviä automaattisia sprinklerijärjestelmiä sekä savunpoistolaitteistoja.

### 2.9.1 Reititys ja asennusperiaatteet

Tolppasen et al. (2013, s.112) mukaan LVIS-järjestelmät ovat toteutettavissa puukerrostaloissa samalla tavalla kuin muissakin asuinkerrostaloissa. Reitityksissä on tärkeää välttää huoneistojen välisten seinien ja välipohjien lävistyksiä. Näitä tehtäessä on kiinnitettävä huomiota lävistysten reunojen erittäin huolelliseen tiivistämiseen. LVI-laitteistot on kiinnitettävä ja asennettava siten, että ne ovat irti jousirangan varaan asennetuista kattolevytyksistä. (Tolppanen et al. 2013, s.112).

LVIS-pystyhormit suositellaan sijoittamaan porrashuoneisiin. Tärkeätä on, että hormit ovat helppoja tarkastaa ja huoltaa. LVIS-tekniikan kytkeminen tehdään rakennuksen rungon pystyttämisen jälkeen omana työvaiheenansa. (Lahtela 2014). Tolppasen et al. (2013, s.112) mukaan jokaiseen asuntoon tulee sijoittaa vähintään yksi pystyroilo, jossa voidaan viedä kuhunkin asuntoon tarvittavat pystysuuntaiset LVIS-syöttölinjat. Rakennuksen pystyroiloihin syöttävät vaakasuuntaiset päärunkolinjat on mahdollista sijoittaa mahdollisen kellarikerroksen katon rajaan, alapohjan ryömintätilaan tai ensimmäisen kerroksen lattian alle lämmöneristettyihin muoviputkiin. Päärunkolinjojen asennusvalinnoilla voidaan vaikuttaa siihen, miten paljon alakattoja joudutaan rakentamaan tai miten paljon huoneistojen välisiä seiniä joudutaan lävistämään. (Tolppanen et al. 2013, s.112).

LVIS-asennukset on hyvä keskittää niihin tiloihin, joihin on luontevaa tehdä alakatot. Hyviä tiloja, joihin on luontevaa tehdä alakatot voivat olla esimerkiksi eteiset, märkätilat

ja keittiöt. On tärkeää huomata, että keittiöiden ja märkätilojen sijainti vaikuttavat viemäriputkien ja sprinkleriputkien asennussuuntaan. Tämä johtuu siitä, että viemäriputket sekä sprinkleriputket pyritään sijoittamaan yleensä välipohjien palkkiväleihin. (Tolppanen et al. 2013, s.112). Märkätilat tulisi sijoittaa porrashuoneen vastaiselle seinälle, jolloin putkivedoista tulee lyhyempiä. Lisäksi putket voidaan kytkeä suoraan pystyhormiin ja samalla vähennetään viemärimelun haittoja. Keittiö kannattaisi sijoittaa märkätilan viereen, sillä silloin viemärin integrointi märkätilaelementtiin olisi mahdollista. Lisäksi viemärimelu vähenisi ja viemärilävistyksiä voitaisiin välttää lattiassa. (Lahtela 2014).

Lämpö- ja vesiputkien sijoittelu taas onnistuu välipohjien ylä- ja alapuolisiin pintakerroksiin. Mikäli lattiassa on asennustilaa, eli siinä on esimerkiksi kelluva rakenne tai pintavalu, suositellaan yleisesti käytettävän lattia-asennustapaa, sillä se on työteknisesti helpompi ja nopeampi kuin kattoasennustapa. Välipohjien pintakerroksissa kulkevat johdotukset kannattaa suojata esimerkiksi kulmateräsprofiileilla, jotta ne eivät kevyiden väliseinien tekovaiheessa vaurioituisi. (Tolppanen et al. 2013, s.112).

Ilmanvaihtoasennukset ovat palotekniikan ja äänieristyksen takia syytä sijoittaa mieluummin huoneistokohtaisesti alakattotiloihin kuin palkkiväleihin. Palkkiväleissä olevat ilmanvaihtokanavat tulee paloeristää. (Tolppanen et al. 2013, s.113). Puuinfon (2018) mukaan ilmanvaihtokonehuone sekä tekniset tilat kannattaa sijoitella rakennuksen kellarikerrokseen.

## 2.9.2 Lämmitysjärjestelmät

Puukerrostaloissa voidaan käyttää kaikkia tavanomaisia lämmitysjärjestelmiä. Kaukolämpö on käyttökustannuksiltaan edullisempi kuin öljy- tai sähkölämmitys, joten jos kaukolämpö on saatavissa, on sen käyttö perusteltua. Myös maalämpö on varteenotettava vaihtoehto päälämmönlähteeksi. Maalämpö on hyvä tapa tuottaa lämpö ekologisesti. (Tolppanen et al. 2013, s.113). Lisäksi laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun tarkastelussa kaukolämmön energiamuodon kerroin on matala. Kaukolämmön energiamuodon kerroin on 0,5, uusiutuvien polttoaineiden, kuten esimerkiksi puun kerroin on 0,5, fossiilisten polttoaineiden kerroin on 1,0 ja sähkön kerroin on 1,2 (788/2017).

Joskus asukkaat saattavat säätää esimerkiksi kylpyhuoneen lattialämmityksen kokonaan pois säädelläkseen sähkönkulutusta. Tästä syystä lämpimän käyttöveden kierto on perustuvat patterilämmitykset ja lattialämmitykset ovat varsin hyviä ratkaisuja, sillä niitä ei pystytä kokonaan sulkemaan. (Tolppanen et al. 2013, s.114). Tolppasen et al. (2013, s.114) mukaan pintavaluun perustuvissa välipohjarakenteissa lattialämmitys on varsin hyvä ratkaisu myös kuivissa tiloissa. Lattialämmitys kokemusten mukaan lisää asuinmukavuutta. Pintavalun sisällä oleva lattialämmitys myöskin mahdollistaa sen, ettei asunnoissa tarvita seinäpattereita eikä niiden mahdollisesti tarvitsemia pystylinjoja. Pystylinjat ovat hankalia esimerkiksi ääneneristyksen ja rakennusrungon painumisen kannalta. (Tolppanen et al. 2013, s.114).

### 2.9.3 Viemäri- ja vesijohtoverkosto

Viemärijärjestelmät viedään usein alakatoissa välipohjan alapuolella. Viemäriputkilla ei kokonsa vuoksi voida lävistää mielivaltaisesti välipohjapalkkeja. Jos niitä kuljetetaan välipohjien sisällä palkkien välissä, tulee viemäriputkien reittien suunnitteluun kiinnittää erityistä huomiota. Huomiota tulee kiinnittää viemäriputkien reittien suunnitteluun erityisesti märkätilojen kohdalla, sillä niiden kohdalla välipohjapalkkien jako on huomattavasti tiheämpi märkätilan betonivalun takia. Muoviset viemäriputket on myöskin paloeristettävä ja äänieristettävä. Viemärit on aina tuettava välipohjarakenteisiin. (Tolppanen et al. 2013, s.114-115).

Vesi- ja viemäriverkoston pystysuuntaiset päälinjat tulee sijoittaa huoneistokohtaisiin pystyroiloihin. Nousukuilun jälkeen on vesijohtoverkoston sijoitettava huoneistokohtainen sulkuventtiili sekä jakotukki. Sulkuventtiili ja jakotukki voidaan sijoittaa esimerkiksi eteisen tai pesuhuoneen alakattotilaan, pystyroilon läheisyyteen. Jakotukilta pystytään erikseen haaroittamaan kytkentäjohtot kaikille vesikalusteille. (Tolppanen et al. 2013, s.115). Suunnittelussa ja toteutuksessa tulee noudattaa ympäristöministeriön asetusta rakennusten vesi- ja viemärilaitteistosta (1047/2017).

Kun märkätila tehdään paikalla rakentaen, suosittelvat Tolppanen et al. (2013, s.115) WC:n viemäriiliittymissä käytettäväksi seinäliittymää. Seinäliittymällä toteutettu WC:n viemäri siirtää melua aiheuttavan viemärin pois lattiarakenteesta, jolloin myös tarve tehdä viemäriälle läpivienti lattian vedeneristeen läpi katoaa.

Märkätiloissa tulisi olla kaksi lattiakaivoa, jotta voitaisiin välttää veden leviäminen koko lattian alueelle. Jos märkätilassa on kaksi lattiakaivoa, voidaan helpommin välttää lattiakaivon tukkeutumisesta johtuvia vesivahinkoja. Myös keittiöön suositellaan asennettavaksi lattiaan vedeneristys sekä keittiökaapiston alle kuivakaivo. (Lahtela 2014).

Uppoasennuksia käytettäessä tulisi puukerrostaloissa lämpöteknisistä, ääniteknisistä ja ilmatiiviyyssistä myöskin välttää vesipisteiden sijoittelua ulkoseinille ja huoneistojen välisille seinille. (Tolppanen et al. 2013, s.115). Vesi- ja viemärilaitteistojen suunnittelua ja toteutusta ohjaa tarkemmin ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärilaitteistosta (1047/2017). Tolppanen et al. (2013, s.115) suosittelvat, että puukerrostalojen vesijohtot tehdään samaan tapaan kuin lämpölinjatkin eli muoviputkilla ja muovisiin suojaputkiin asennettuina. Muoviputket ovat helppoja ja nopeita asentaa lattioiden pintakerrokseen. Lisäksi muoviputket ovat ääniteknisestikin hyviä. Rakennuksen rungon vähäiset liikkeet eivät vaurioita muoviputkia. Muoviputkijärjestelmää käytettäessä märkätiloissa ei tarvitse tehdä erillisiä vesijohtolävistyksiä lattioihin, sillä johtolinjat pystytään tuomaan alakattojen ja seinien kautta vesikalusteille. Muoviputkijärjestelmän etuna on myös se, että kaikki vesijohtot pystytään sijoittamaan uppoasennuksina, kun käytetään hyväksi suojaputkia sekä hanakulmarasioita. (Tolppanen et al. 2013, s.115).

## 2.9.4 Ilmanvaihtojärjestelmät

Tolppasen et al. (2013, s.117) mukaan puukerrostaloissa voidaan käyttää samoja ilmanvaihtojärjestelmiä kuin muissakin asuinkerrostaloissa. Tolppanen et al. (2013, s.117) kuitenkin suosittelevat käytettävän huoneistokohtaista ilmanvaihtojärjestelmää, koska tällöin huoneistokotaiset ilmanvaihdon säätömahdollisuudet paranevat eikä rakennuksen kattokerrokseen tarvitse rakentaa erillistä ilmanvaihtokonehuonetta. Asunnoissa ilmanvaihtokanavat voidaan sijoitella esimerkiksi välipohjien alapuolelle, asuntojen alakattoihin (Tolppanen et al. 2013, s.118).

Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä voi sisältää koneellisen poistoilmanvaihdon ja tuloilman tai pelkän poistoilmanvaihdon. Tolppanen et al. (2013, s.117) suosittelevat tuloilman hoitamista huoneistokohtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, sillä silloin tuloilman määrän säätely mahdollistuu paremmin ja sisäilman laadusta voidaan saada parempi. Koneellisesti hoidettuna tuloilmaa voidaan joko jäähdyttää tai lämmittää tarpeen mukaan. Huoneistokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä sijoitetaan pystysuuntaiset ilmanvaihtokanavat asuntokohtaisiin pystyroiloihin, joista kanavat johdetaan vesikatolla oleviin poistopiippuihin. Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä taas pystysuuntaiset ilmanvaihtokanavat johdetaan ilmanvaihtokonehuoneeseen roiloja pitkin. (Tolppanen et al. 2013, s.117-118).

Ilmanvaihtojärjestelmältä vaaditaan poistoilman osalta lämmöntalteenottoa (Tolppanen et al. 2013, s.118). Vuoden 2018 alussa voimaan tullessa ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on vertailulämpöpölvän laskennassa käytettävän poistoilman lämmöntalteenoton osalta vuosihyötysuhteen arvo nostettu korvattavan RakMK:n osan D3 45 prosentista arvoon 55 prosenttia (1010/2017).

## 2.9.5 Sähköjärjestelmät

Tolppasen et al. (2013, s.118) mukaan toteutuneissa hankkeissa puukerrostalojen sähköistys on ollut ongelmaton. Puukerrostalojen rakentamiseen on sopinut hyvin putketon asennustapa. Puukerrostalorakentamisessa on myöskin sähkötöiden ja sähköasennusten osalta koettu esimerkiksi lävistyksiset ja kiinnitykset helpommiksi kuin betonirakentamisessa. Sähköjärjestelmissä puukerrostalojen asennustyöt eivät juurikaan eroa pientalojen sähköasennuksista. Puukerrostaloissa sähköasennukset voidaan tehdä, kun rakennuksen runko on valmis ja rakennus on säältä hyvin suojassa. (Tolppanen et al. 2013, s.118).

Sähköpääkeskukset ja mittauskeskukset voidaan puukerrostaloissa sijoittaa yhteistiloihin aivan kuten tavallisessakin kerrostalotuotannossa. Mittauskeskuksilta huoneistokohtaisille ryhmäkeskuksille kulkevat nousujohdot voidaan kuljettaa asuntojen pystyroiloissa. Tolppasen et al. (2013, s.118) mukaan ryhmäkeskukset suositellaan sijoittamaan pystyroilojen yhteyteen asuntojen eteistiloihin. Seinälävistyksiset ja huoneistoihin tulevat nousujohdot tulee asentaa suojaputkiin. Huoneiston sisällä kulkevat sähkölinjat voidaan

tehdä ilman suojaputkia johtoasennuksina esimerkiksi lattioiden eristetilassa tai välipohjan alapuolella olevissa koolaus- ja jousirankaväleissä. Jos sähköasennukset voidaan tehdä vapaasti lattian pintakerroksissa, lyhentyvät sähkökaapeleiden johdotuspituudet. On kuitenkin huomioitava se, että puhelinjohdot ja antennijohdot on edelleen syytä asentaa muovisiin suojaputkiin, sillä kyseiset johdot eristävät heikosti ja mekaanisesti ovat heikosti kestäviä. (Tolppanen et al. 2013, s.118).

## 2.9.6 Palotekniset laitteistot

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta säädetään, että asuntojen on oltava varustettu tarkoituksenmukaisilla paloteknisillä laitteistoilla, joka varhaisessa vaiheessa ilmoittaa alkavasta palosta. Tavallisesti asunnoissa, jotka on kytketty sähköverkkoon, tulee olla sähköverkkoon kytketty palovaroitin. Yli 2-kerroksisissa P2-paloluokan rakennuksissa täytyy olla tarkoitukseen sopiva automaattinen sammutuslaitteisto, joka on kytketty hätäkeskukseen. Yli 2-kerroksisissa P2-paloluokan rakennuksissa myös parvekkeilla, joita on tarkoitus käyttää varateinä, tulee olla automaattinen sammutuslaitteisto. P2-paloluokan mukaisissa yli 2-kerroksisissa rakennuksissa täytyy käyttää automaattista sammutuslaitteistoa uloskäytävässä, joka palvelee useampaa kuin yhtä poistumisaluetta. (848/2017).

Edellä mainittuihin automaattisen sammutuslaitteistojen osalta vaatimus ei kuitenkaan koske tilannetta, jossa kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan huoneistoon ja rakennus on alle enintään 14 metriä korkea. Vaatimus ei myöskään koske tilannetta, jos uloskäytävän kantavat rakenteet ja osastoivat rakenteet sekä porrassyöksyt ja porrastasanteet ovat vähäisiä asennuksia sekä kerrostasojen ja portaiden yläpintaa lukuun ottamatta tehty vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista. (848/2017).

OH1-tason (Ordinary Hazard) sprinklerilaitteisto vaaditaan 5–8 kerroksisissa P2-paloluokan asuinpuukerrostaloissa. 3–4-kerroksisissa puukerrostaloissa riittää kevyt LH-tason (Low Hazard) sprinklerilaitteisto. Sprinklerityyppejä on kolmea erilaista. Vesi johdetaan putkistoa pitkin sprinklerisuuttimiin. Perinteisessä sprinklerissä pisarakoko on 1–5 mm ja pisaroiden pinta-ala 1–6 m<sup>2</sup>. Perinteisessä sprinklerissä putkikoko on 25–200 mm. Matalapainevesisumujärjestelmässä pisarakoko on 0,2–1 mm ja pisaroiden pinta-ala 6–30 m<sup>2</sup>. Matalapainevesisumujärjestelmässä putkikoko on 20–80 mm. Korkeapainevesisumujärjestelmässä pisarakoko on 0,025–0,2 mm ja pisaroiden pinta-ala 30–250 m<sup>2</sup>. Korkeapainevesisumujärjestelmässä putkikoko on 12–38 mm. Korkeapainevesisumujärjestelmässä veden määrä on alle 10% perinteisesti sprinkleristä. Sprinklerisuuttimien asennustiheys määräytyy niiden suojausalan mukaan. (Karjalainen & Viljakainen 2013). Mölsän (2015) Rakennuslehteen kirjoittamassa artikkelissa todetaan, että sprinklauksesta aiheutuu noin 100 €/hum<sup>2</sup> kustannus.

Rakennus tulee varustella tarkoitukseen sopivalla kiinteällä sammutusveden siirtämiseen tarkoitettulla putkistolla, niissä tapauksissa, että sisäänkäyntitason yläpuolisissa tiloissa

ylittyy ylimmän kerroksen lattian etäisyys yli 24 metriä sisäänkäyntitasosta ja toisaalta niissä tapauksissa, joissa kellarikerroksen lattian etäisyys rakennuksen sisäänkäyntitasosta on yli 14 metriä. (848/2017).

### 2.9.7 Savunpoistolaitteisto

Sammutus- ja pelastustoiminnan tehostamista varten on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen eri tiloihin soveltuva mahdollisuus savunpoistoon. Osastoituihin uloskäytäviin sekä osastoituihin hissikuiluihin tulee järjestää mahdollisuus sekä savunpoistoon että korvaavan ilman virtaamiseen. Kellareissa on oltava sellainen savunpoistomahdollisuus, että uloskäytäviä tai osastoituja sammutusreittejä ei tarvitse käyttää savunpoistoon. Perustelluista syistä savunpoisto on järjestettävä erityistoimenpiteiden avulla, kuten esimerkiksi savunpoistoikkunoiden, savunpoistoluukkujen, savunpoistopuhaltimien tai helposti avattavien huonetilojen yläosassa sijaitsevien ikkunoiden avulla. (848/2017).

### 2.9.8 Lattialämmitys

Siikanen (2016, s.316) esittelee märkätilan lämmitykseen kolme vaihtoehtoista tapaa. Lämmityksenä voi toimia vesikiertoinen patterilämmitys, vesikiertoinen lattialämmitys tai sähkölämmitys.

Vesikiertoisesta lattialämmityksestä kertoo lisää RT-kortti 52-10801 vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmitys soveltuu lähes kaikenlaisiin rakennuksiin sekä lattiarakenteisiin, kunhan rakenteiden lämmöneristävyys on tarpeeksi hyvä. Lattialämmityksen lämmöntuotannossa voidaan käyttää mitä vain lämmitysmuotoa. Lattialämmitystä voidaan yhdistää muihin lämmönjakotapoihin, kuten pattereihin, tai sitä voidaan käyttää yksinään. Lattialämmitys varustellaan lämmönlähteen yhteyteen asennettavalla säätöjärjestelmällä. Lattiarakenteen suunnittelu on syytä tehdä rakennesuunnittelijan kanssa, kun päätetään käyttää lattialämmitystä. Suunnittelussa sekä asennuksessa tulee huomioida lattialämmityksen aiheuttamat muutokset. Lattialämmitys voi mahdollisesti kasvattaa lattiarakenteen paksuutta. Lattialämmitystä käytettäessä on huomioitava lattian pintamateriaalin soveltuvuus lattialämmitykseen. (RT 52-10801).

Asennettaessa lattialämmityspotket betonilattiaan, asennetaan putket noin 40 mm syvyyteen pinnasta putken keskelle mitattuna. Mikäli käytetään pintavalua, joka tulee asennuslevyn päälle, tulee valun paksuus olla yleensä vähintään 30 mm putken yläpinnasta mitattuna. Putket voidaan kiinnittää joko sidelangoilla betonilattian rauditusverkkoon, erillisellä kiinnikkeellä rauditusverkkoon tai eristeeseen kiinnitettävään putkipidikelistaan. (RT 52-10801). Useissa puukerrostalojen välipohjaratkaisuissa puisten välipohjien päälle tulee betonivalu, kipsivalu tai plaanotasoite (Tolppanen et al. 2013, s.167).

Lattialämmityspotket voidaan asentaa puurakenteisessa välipohjassa esimerkiksi siten, että lattiavasojen päälle asennettavan harvalaudoituksen tulee lämmönluovutuslevy,



jonka uraan asennetaan putki. Näiden päälle asennetaan esimerkiksi lattialastulevy ja sen päälle sopiva lattian päällyste. Toinen vaihtoehto on asentaa lattiavasojen ja harvalaudoituksen päälle kipsilevy, johon putket kiinnitetään esimerkiksi ylimenopidikkeellä. Putkien väleihin asennetaan kipsilevysoirot ja lopuksi tyhjät välit täytetään kiviainespohjaisella massalla. Viimeiseksi asennetaan pintalevy ja lattian päällyste. Mikäli lattiaan porataan myöhemmässä vaiheessa asennuksen jälkeen jälkikiinnityksiä, tulee varmistaa, ettei kiinnityskohdassa kulje lattialämmitysputkia. Lattialämmitysputkia ei saa muutenkaan kolhia tai rikkoa, eikä kieppiä vahingoittaa. (RT 52-10801).

Tolppanen et al. (2013, s.114) toteavat lämpimän käyttöveden kiertoon perustuvien patterilämmitysten ja lattialämmitysten olevan peseytymisentilojen lämmitykseen sopivia ratkaisuita, sillä asukkaat eivät voi kokonaan sulkea niitä. Pintavaluun perustuvissa välipohjissa voidaan kuiviinkin tiloihin asentaa lattialämmitys (Tolppanen et al. 2013, s.114). Tolppanen et al. (2013, s.114) toteavat, että myös kuiviin asuintiloihin asennettava lattialämmitys on hyvä ratkaisu, koska lattialämmityksen koetaan lisäävän asumismukavuutta.

Lahtelan (2014) mukaan lattialämmityksen avulla voidaan saada lämmityslaitteiston kautta aiheutuvia ääniä poistettua. Lisäksi lattialämmitystä käyttämällä voidaan välttää huoneistojen välisten välipohjien lävistys putkella. Lattialämmityksen jakotukit on hyvä olla jakotukkikaapissa, jossa liitokset ovat tarkastettavissa ja mahdolliset vesivuodot havaittavissa. Jakotukkien ollessa jakotukkikaapissa myöskin säädöt, ilmaukset ja muut huoltotoimenpiteet ovat helposti toteutettavissa. Jakotukkikaappien sijoitus tulee suunnitella rakennuksen toteutustapa huomioon ottaen. (Lahtela 2014).

## 2.10 Puurungon vaikutus suunnitteluun

Puu rakennusmateriaalina antaa suunnitteluun sekä vapauksia, että rajoitteita. Asuntosuunnittelussa täytyy huomioida asumisesta lähtöisin olevat tarpeet ja rakennuksen kaupunkikuvaan vaikuttavat asiat, jotka pitää pystyä toteuttamaan valitulla rakennejärjestelmällä. Rakennuksen kantavina rakenteina voidaan käyttää puukerrostalossa huoneistojen välisiä seiniä ja ulkoseiniä. Lisäksi kantavina rakenteina voidaan käyttää pilari-palkkijärjestelmää, joko kokonaan tai osittain. Liikaa teknisiä tai taloudellisia rajoitteita asettavaa rakennejärjestelmää ei kannata valita ja käyttää. (Tolppanen et al. 2013, s.32–33). Viljakaisen (2005) mukaan on tärkeää, että suunnittelija ymmärtää valitun rakennejärjestelmän rakenteelliset periaatteet ja sen, miten rakennejärjestelmä vaikuttaa rakennuksen tilojen ja muotojen suunnitteluun. Keskeisiä lähtökohtia puurungon suunnittelulle ovat vaakarakenteilla saavutettavat jännemitat sekä kantavien linjojen sijoittelu. Kokonaisuudessaan puurungon suunnitteluun vaikuttavat olennaisesti vaakamitoitus kantavat linjat, jännemitat, pystymitoitus, seinien aukotus, painumat ja rungon sovellukset, joita ovat esimerkiksi porrashuoneet, hissit sekä parvekkeet ja luhtikäytävät. (Viljakainen 2005).

Tilasuunnittelun tärkeänä lähtökohtana on kantavien linjojen sijoittelu. Kantavien linjojen sijoittelussa vaikuttavat merkittävästi välipohjarakenteella saavutettavat jännemitat.

Kantavia linjoja tarvitaan tyypillisesti puurakenteisissa taloissa noin 4–6 metrin välein riippuen välipohjaratkaisusta. Pidemmässä jänneväleissä alkaa aiheutua haitallista palkiston värähtelyä. Jännemittojen kasvattaminen johtaa usein palkkikoon kasvattamiseen, mikä taas johtaa kerroskorkeuden nousemiseen. Pilari-palkkilinjalla voidaan korvata osa kantavista seinistä haluttaessa pitkiä vapaita tiloja sisälle. Tyypillisesti puukerrostalossa kantavia linjoja ovat rakennuksen ulkoseinät sekä osa väliseinistä. Erityisesti kerrostaloissa kantavien linjojen suunnitteluun ja sijoitteluun tulee paneutua, sillä ne vaikuttavat merkittävästi huoneistoalalaskelmiin ja kerrosalalaskelmiin. (Viljakainen 2005). Jännemittojen takia kantavia linjoja tulee puukerrostalossa enemmän kuin betonirakenteisessa talossa (Tolppanen et al. 2013, s.33). Tilakustannukset huoneistojen välisissä seinissä on huomioitava. Nykyisin määräysten mukaan lasketaan paksuuteen mukaan vain 200 mm kerrosalaa laskettaessa. Mikäli huoneistoja rajaavan väliseinän paksuus on enemmän kuin 200 mm, saa rakennuksen kerrosala ylittää sallitun kerrosalan tästä aiheutuvan pinta-alan verran. (812/2017).

Avoimessa puurakennusjärjestelmässä pystymitoituksessa vaikuttavat esimerkiksi tolppapituus sekä liitosperiaatteet. Välipohjarakenteen korkeuden muuttuminen ei vaikuta huonekorkeuteen, mutta kerroskorkeuteen se vaikuttaa. Huonekorkeuteen vaikuttavat lattian pintakerrosten paksuus, sekä palkiston alapuolisen kattoverhouksen sekä siihen liittyvien alusrakenteiden paksuus. Seinien aukottamisessa aukon kokoon vaikuttavat seinän kuormat sekä aukkopalkin tyyppi. Ulkoseinissä sekä väliseinissä aukkopalkeissa on useita eri mahdollisuuksia. Ikkuna-aukkojen enimmäisleveyksistä suurimpiin päästään käyttämällä ikkuna-aukkopalkkina vahvistettua kehäpalkkia tai kahta kappaletta välipohjapalkkia. Tolppajakoa ei tarvitse huomioida aukkojen paikkoja suunniteltaessa, mutta lisätolppien tarve tulee huomioida tilavarauksena aukon pielissä ja tilanteissa, joissa on useampia aukkoja vierekkäin tai tehdään nurkka ikkunaa. (Viljakainen 2005).

Puukerrostaloissa painuminen on tyypillinen piirre. Painuminen johtuu esimerkiksi puun kuivumisen aiheuttamasta puun kutistumisesta sekä rakennuksen painon aiheuttamasta puun kokoonpuristumisesta. Painumat ovat alemmissa kerroksissa suurempia kuin ylemmissä kerroksissa. Painumat on erityisesti huomioitava tilanteessa, jossa puurunkoa on yhdistetty painumattomiin rakenteisiin. Painumat tulee huomioida kohdissa, joissa ne voivat vaurioittaa pintamateriaaleja. Tavallisesti painuminen ei kuitenkaan aiheuta ongelmia sisäverhouslevyjen kanssa, sillä seinissä painuminen on vähäistä ja levyjen päissä on hieman painumavaraa. (Viljakainen 2005).

Rungon sovelluksissa suunnittelussa kannattaa rajata erikoissuunnittelua vaativat kohteet hallittaviksi kokonaisuuksiksi. Liittymiskohtien tulee olla selviä. Puukerrostaloissa puurakenteisen porrashuoneen etuna on, että siellä olevat pystyrakenteet painuvat samalla tavalla kuin muu puurunko talossa. Hissikuilut voidaan tehdä puusta, teräksestä tai kiviaineisista materiaaleista. Tyypillisesti hissitornin rakenteet erotetaan muusta rungosta tärinän sekä mahdollisten painumaerojen vuoksi. Luhtikäytävät tehdään erilliskannatettuina. (Viljakainen 2005).

### 3. PUUKERROSTALOJEN RAKENNEJÄRJESTELMÄT JA TOTEUTUS

#### 3.1 Puukerrostalojen rakennejärjestelmät ja toteutus

Puukerrostalojen rakennejärjestelmällä tarkoitetaan sitä kokonaisuutta, joka koostuu rakennuksen kantavista rakennusosista ja rakennuksen tiloja rajaavista rakennusosista. Rakennejärjestelmä on hieman laajempi käsite kuin runkojärjestelmä. Rakennejärjestelmään luetaan mukaan myös esimerkiksi ei-kantavat ulkoseinät ja osastoivat väliseinät. Runkojärjestelmä tarkoittaa rakennuksen kantavista ja jäykistävästä rakennusosista koostuvaa kokonaisuutta. (Tolppanen et al. 2013, s.30).

Puukerrostalot voidaan toteuttaa monenlaisilla eri rakennejärjestelmillä. Puukerrostalot on mahdollista toteuttaa kantavaseinäisillä massiivipuurakenteilla ja rankarakenteilla, jotka voidaan toteuttaa joko tilaelementteinä tai tasoelementteinä. Lisäksi puukerrostalon voi toteuttaa pilari-palkkijärjestelmällä, jolloin vaipparakenteet on usein tehty rankarakenteisista tasoelementeistä. Puukerrostalojen rakentamisessa siirrytään yhä enemmän teollista rakentamista kohti. Puukerrostaloissa käytettäville rakennejärjestelmille on yhteistä se, että kaikissa on viety pitkälle teollinen esivalmistus sekä rakenteiden elementointi. (Tolppanen et al. 2013, s.30).

Avoimella järjestelmällä tarkoitetaan sitä, että rakennus voidaan toteuttaa ja suunnitella tehdasvalmisteisista valmisosista, käyttämällä samassa rakennushankkeessa joko erikseen tai yhdessä eri valmistajien tuotteita ja ratkaisuita. Suljettu järjestelmä tarkoittaa sitä, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan pääasiassa yhden valmistajan tai valmistusketjun ratkaisuihin. (Tolppanen et al. 2013, s.30).

Puu rakennusmateriaalina sekä puuhun perustuvat insinööripuutuotteet, kuten LVL ja CLT ovat lujia, mutta silti keveitä. Lisäksi puu ja insinööripuutuotteet ovat mittatarkkoja ja niitä on helppo työstää. Edellä mainittujen asioiden takia puu ja puuhun perustuvat insinööripuutuotteet soveltuvat hyvin teollisten rakennusosien valmistukseen. Koska puusta tehty teollisesti valmistetut rakennusosat ovat edelleen kevyitä, voidaan suurikokoisiakin rakennusosia kuljettaa ja lisäksi niitä voidaan nostaa paikoilleen työmaalla. Puusta tehtyjä rakennusosia käytettäessä ei välttämättä työmaalla tarvita järeää työmaanosturia, vaan nostot voidaan tehdä keveämmillä autonostureilla tai kurottajilla. (Tolppanen et al. 2013, s.31).

Puukerrostaloissa tällä hetkellä käytettävät ja tarjolla olevat rakennejärjestelmät perustuvat teollisesti pitkälle esivalmistettuihin suurikokoisiin valmisosiin. Pitkälle viety teolli-

nen esivalmistus poikkeaa huomattavasti tavanomaisista suomalaisen rakentamisen käytännöistä. Teollinen esivalmistus ja teolliset rakentamistavat mahdollistavat useita hyötyjä, joita rakentamisen nykykäytännöillä ei saada aikaan. (Tolppanen et al. 2013, s.31).

Työmaalla tehtävästä kokoonpanosta tulee nopeaa teollisten rakentamistapojen ja esivalmistuksen avulla. Teollinen esivalmistus mahdollistaa sen, että laatu on tasaista ja dokumentoitua. Laadunvarmistus ja laadun tarkkailu sekä dokumentointi voidaan järjestää helpommin tehtaassa kuin työmaalla. Teollinen esivalmistus voi tietyissä tilanteissa helpottaa mahdollista työmaan työvoimapulaa, kun suuri osa rakennusosista tehdään ja valmistetaan muualla tehtaassa, missä voi olla enemmän työvoimaa tarjolla. Teollisesti esivalmistetut osat ovat mittatarkkoja. Mittatarkkuus helpottaa rakennuksen virheetöntä sekä nopeaa kokoonpanoa. (Tolppanen et al. 2013, s.32).

Rakennuksen eri liitokset tehdään yksinkertaisilla ruuvi- tai pulttiliitoksilla. Toisaalta asennuksessa tulee kiinnittää erityistä huomiota liitosten tiiviyyteen ja mahdollisten tiivisteiden asentamiseen. Rakenteet ja työmaan sääsuojaus on tärkeää tehdä huolellisesti ja hyvin. Työmaa tulee suojata sääoloja vastaan siihen asti, että rakennuksen vaippa on valmis. Sääsuojaus mahdollistaa sen, että rakennettaessa voidaan limittää työvaiheita tavanomaista enemmän, mikä voi johtaa rakennusajan lyhenemiseen. (Tolppanen et al. 2013, s.32). Teollinen esivalmistus vähentää rakentamisen aikaisia kosteusriskejä sekä rakenteiden säälle altistusta (Tolppanen et al. 2013, s.172).

### **3.2 Puukerrostalorakentamisen etuja ja haasteita**

Kilpeläisen et al. (2001) mukaan puuelementtirakentamisen etuina esivalmistuksen ansiosta ovat rakennustyön tuottavuuden sekä laadun parantaminen. Tuotannon siirtyminen tehdasolosuhteisiin mahdollistaa rakennusajan lyhentämisen, jonka myötä voidaan säästää säästöjä esimerkiksi pienentyneiden työmaan yleiskustannusten ja rakennusajan pääomakustannusten muodossa. Esivalmistus helpottaa talvirakentamista ja pienentää kausivaihtelua. Sääolosuhteiden vaikutus työmaalla voidaan minimoida, kun työtä siirtyy säältä suojaan elementtitehtaisiin. Laadun osalta elementtitehtaissa rakennetaan hallituissa olosuhteissa rakennusosia ja voidaan varmistaa mittatarkat rakenteet sekä korkea laatu. (Kilpeläinen et al. 2001).

Puurakentamisessa hyötynä nähdään rakentamisen nopeus. On kuitenkin huomattava, että nopean rakennusvaiheen edellytyksenä on teollisesti esivalmistettujen elementtien sekä rakennusosien käyttäminen. Rakentajakokemuksen karttuminen teollisesta puurakentamisesta olisi tärkeää nopeuden kannalta. Kehityksen kannalta olisi erityisen tärkeää, että hankitut kokemukset sekä osaaminen toteutetuista kohteista saataisiin vietyä seuraaviin kohteisiin. Puukerrostalorakentamiseen liittyvien rutiinien kehittyminen sekä rakentamistaitojen harjaantuminen saataisiin parhaiten hyödynnettyä, jos sama porukka urakoitsijoilta pääsisi toteuttaman tarpeeksi uusia kohteita peräkkäin. (Tolppanen et al. 2013,

s.174). Karjalainen (2002) toteaa, että puukerrostalorakentamisen kilpailukyvyn kehittämiseen vaaditaan harjaantumista ja jatkuvuutta puukerrostalorakentamisessa sekä teknisten ratkaisuiden vakiinnuttamista.

Koska rakennuksen kokoonpano ja rakentaminen on ajaltansa lyhytkestoisempaa kuin tavanomaisessa rakentamisessa, jäävät rahoituskulut pienemmiksi. Lyhempi rakentamisaika myös mahdollistaa nopeamman projektikierron, sekä sen, että myynti- tai vuokratuottoja voidaan alkaa saamaan nopeammin itse rakentamisen aloituksen jälkeen. (Tolppanen et al. 2013, s.32).

Keveytensä ansiosta puukerrostalorakentaminen soveltuu hyvin myös ahtaille tonteille. Toisaalta erityisesti ahtaille tonteille rakennettaessa korostuu materiaalitoimitusten sovitaminen aikatauluun siten, että varastoinnit ja suojaukset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Elementit kannattaa toimittaa työmaalle siten, että ne päästään asentamaan suoraan paikalleen. (Tolppanen et al. 2013, s.177).

Puukerrostalorakentamisen kustannustehokkuuden kannalta rakennusvaiheen nopeus on tärkeimpiä kilpailutekijöitä. Puukerrostalorakentamisen nopeus vaikuttaa merkittävästi rakentamisen yleiskustannuksiin, sillä työvoiman palkkoihin ja kalustoon kuluu vähemmän rahaa. Lisäksi puukerrostaloissa voidaan saavuttaa säästöjä myös tarvittavan nostokaluston keveyden ansiosta. Lisäksi puukerrostaloissa kokemusten mukaan helppo liitostekniikka, edulliset yläpohjat sekä paikkaus- ja tasoitustöiden vähyys ovat olleet hintaa alentavia tekijöitä. Puukerrostaloissa rakentamisen kustannuksia ovat lisänneet erityisesti automaattiset sammutusjärjestelmät, puurakenteiset välipohjat sekä puurakenteiset ulkoseinät. Välipohjien kalleuden taustalla on erityisesti rakennekerrosten määrä, sekä välipohjiin sitoutunut työvoima, joka johtuu useista työvaiheista. Puurakentamisen kilpailukyvyn odotetaan paranevan tulevaisuudessa, menetelmien yleistymisen ja työmaakokemuksen karttumisen myötä. (Tolppanen et al. 2013, s.175–176).

### **3.3 Kantavat seinät-järjestelmä**

Yleisimmin Suomessa käytettävä runkojärjestelmä puukerrostaloissa on Tolppasen et al. (2013, s. 39) mukaan kantaviin seiniin perustuva kerroksittainen järjestelmä. Kantavat seinät-järjestelmä tarkoittaa sellaista runkojärjestelmää, jossa kantavina rakenteina toimiville seinille johdetaan vaakarakenteilta tulevat kuormat. Kantavat seinät-järjestelmällä on mahdollista päästä puisilla välipohjarakenteilla noin seitsemän metriä pitkiin jänneväleihin (Tolppanen et al. 2013, s.39). Kantavat seinät-järjestelmä sopii hyvin rakennuksiin, joissa on lyhyet jännevälit. Kantavat seinät-järjestelmä onkin omiaan esimerkiksi asuinrakennuksissa, joissa on tiheästi huoneistojen välisiä seiniä ja asunnon sisäisiä seiniä (Puuinfo 2011).

Kantavat seinät-järjestelmässä seinät toteutetaan rankarakenteisilla tai massiivipuisilla suurelementeillä. Edellä mainituilla tavoilla toteutettaessa kantaviksi linjoiksi tyypillisesti valitaan rakennuksen ulkoseinät sekä osa väliseinistä. Usein kantavat väliseinät ovat huoneistojen välisiä seiniä. Huoneistojen väliset seinät ovat usein joka tapauksessa paksuja, koska niiden täytyy täyttää paloeristyksen ja ääneneristyksen vaatimukset. Rakennuksen jäykistävinä rakenteina kantavat seinät-järjestelmässä toimivat vaakarakenteet ja osa seinistä. Asuntojen muuntojoustavuuden mahdollistamisen takia kantaviksi seiniksi ei yleensä valita huoneistojen sisäisiä seiniä. Lisäksi mahdollinen tilojen muuntelun tarve tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa, koska kantavat seinät-järjestelmällä rakennettuja tiloja ei pysty niin vapaasti järjestelemään uudelleen. (Tolppanen et al. 2013, s.39).

### 3.4 Massiivipuiset suurelementit

LVL:llä tarkoitetaan viilupuuta. LVL on vahvaa, mutta kuitenkin kevyttä sekä helposti työstettävää. Stora Enson valmistaman LVL-levyn paksuus vaihtelee 27–75 mm välillä, leveys seinälevyissä on 1200-2500 mm ja maksimipituus 24 metriä. (Stora Enso 2018).

CLT eli monikerroslevy on massiivipuulevy. CLT-levy valmistetaan liimaamalla useaan kerrokseen ristikkäin lautoja tai rimoja. CLT-levyn mitat ja valmistustapa vaihtelevat valmistajittain. CLT-elementeissä on tyypillisesti 3, 5 tai 7 kerrosta. Kerroksia voi olla enemmänkin. CLT-elementin eri kerrokset voivat olla eri paksuisia. (Siikanen 2016, s.105). CLT-levyjen koko vaihtelee toimittajittain. Esimerkiksi Stora Enson valmistavat CLT-levyt ovat kooltaan 2,95 metriä korkeita ja maksimissaan 16 metriä leveitä. Stora Enson CLT-levyissä on 3, 5, 7 tai 8 eripaksuista ristiinliimattua lamellikerrosta (Stora Enso 2018). HOISKOn CLT-levyt ovat kooltaan maksimissaan 3,5 metriä korkeita ja 12 metriä leveitä. HOISKOn CLT-levyissä on ristiinliimattuna 3–10 kerrosta 20–60 mm lamellipaksuudella. HOISKO toimittaa CLT-levyä joko reunaliimattuna tai ilman reunaliimausta. (CLT Finland 2018). Crosslamin CLT-levyn valmistusmitat ovat leveyden osalta maksimissaan 3,2 metriä ja pituus on maksimissaan 12 metriä. Crosslamin CLT-levyn paksuus on minimissään 60 mm ja maksimissaan 300 mm. Levyissä on 3, 5 tai 7 kerrosta. Crosslamin CLT on lapeliimattua, mutta ei syrjäliimattua. (CrossLam Kuhmo 2018a).

Puun kutistuminen aiheuttaa vetojännityksiä, joka voi aiheuttaa puussa halkeamia. CLT-levyn ollessa syrjäliimaamatonta halkeilee tuote rinnakkaisten lautojen välisen liimausauaman kohdalta. Syrjäliimaamattomissa levyissäkään halkeamat eivät merkittävästi vaikuta lujuusominaisuuksiin. Halkeamat kuitenkin saattavat vaikuttaa esimerkiksi lämmönjohtavuuteen, kosteuden diffuusioon ja palokäyttäytymiseen. Syrjäliimauksen avulla voidaan minimoida halkeamien syntyminen lautojen saumojen väleihin. CLT-levy halkeilee syrjäliimattuna vähemmän kuin syrjäliimaamattomana. CLT-levyissä puutavaran syrjäliimaus aiheuttaa lisää tuotantokustannuksia. (Yeh et al. 2013).

Siikasen (2016, s.105) mukaan CLT on erittäin monipuolinen rakennusmateriaali. Tolppasen et al. (2013, s.43) mukaan CLT-massiivipuulevystä on mahdollista tehdä rakennuksen kaikki maanpäälliset rakenteet. CLT-rakenteista voidaan tehdä esimerkiksi seinät, välipohjat ja katot. CLT-rakenteita voidaan hyödyntää rakennuksena kantavina pystyelementteinä ja vaakaelementteinä. CLT on rakennusmateriaalina luja ja tiivis. CLT pysyy hyvin muodossaan (Siikasen 2016, s.105). Ristiinlaminointi takaa CLT-levyjen lujuuden ja muotonsäpitävyyden, minkä ansiosta CLT-rakenteiden kosteuseläminen on vähäistä, eikä CLT-rakenteissa juurikaan tapahdu painumista. (Tolppanen et al. 2013, s.44).



**Kuva 4.** Periaatekuva massiivipuilla suurelementeillä toteutetusta ratkaisusta (Puuinfo 2018).

Siikasen (2016, s.105) mukaan CLT-elementtejä voidaan työstää tehtaalla pitkälle. Elementteihin työstetään tehtaalla automaattisella työstökoneella erilaiset ovi- ja ikkuna-aukot, kuten myös LVIS-asennusten vaatimat työstöt ja elementtiliitosten tarvitsemat työstöt. Tolppasen et al. (2013, s.45) mukaan CLT-levyjen työstäminen onnistuu mittatarkasti CNC-koneella. CNC-koneella pystytään tehtaalla toteuttamaan CLT-levyihin aukotukset, liitokset ja muut tarvittavat työstöt. Massiivipuiset CLT-elementit voidaan toimittaa halutun valmiusasteen mukaisesti. Elementteihin pystytään asentamaan tehtaalla valmiiksi esimerkiksi eristeet, pintamateriaalit, ikkunat ja ovet. CLT-levyyn voidaan tehtaalla valmiiksi jyrsiä urat sekä kolot sähköjohdoille ja sähkörasioille. CLT-levyyn voidaan tehdä asennustila sähköjohdoille ja muille asennuksille myös koolaamalla CLT-levyn sisäpuoli. CLT-levyn sisäpuoli voidaan myöskin levyttää. Elementin ulkopintaan voidaan asentaa suoraan lämmöneristeet. Esimerkiksi kovat lämmöneristeet voidaan liimata suoraan levyn ulkopintaan. Tällöin ulkoverhouksen vaatimat koolauksen voidaan ruuvata eristeiden läpi kiinni levyyn. (Tolppanen et al. 2013, s.45).

Tolppasen et al. (2013, s.44) mukaan CLT-massiivipuulevystä tehdyistä suurelementeistä rakentaminen on kilpailukykyistä vaativissa rakennuskohteissa ja korkeissa puukerrostoiloissa. CLT:n kilpailukykyisyys vaativissa ja korkeissa rakennuksissa perustuu hyvään rakenteelliseen lujuuteen, helppoon liitostekniikkaan sekä rungon jäykistykseen. CLT-levy toimii yhtä aikaa rakenteissa sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena. Kun CLT-levyn lamellit on syrjäliimattu, on etuna myös se, että erillisiä ilmansulkukerroksia tai höyrynsulkukerroksia ei tarvita. Lisäksi lämmöneristekerros voidaan toteuttaa ohuempana, sillä CLT-levy toimii osaltansa lämmöneristeenä. Kantavana rakenteena toimiva CLT-levyn puupinta voidaan joko peittää tai se voidaan jättää näkyviin. Tavallisesti kuitenkin ääniteknikka tai palotekniikka ovat vaatineet rakenteen levytystä. (Tolppanen et al. 2013, s.44-45). Toisaalta vuoden 2018 alussa voimaan tullut ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta helpotti kantavien rakenteiden osalta puupintojen näkyviin jättämistä, sillä puurakenteiden sisäpintoja voidaan tiettyjen ehtojen täyttyessä jättää osittain suojaverhoamatta (848/2017).

CLT-levyistä rakennettaessa levyjen maksimi- ja minimimitat tulee ottaa huomioon heti suunnittelua aloitettaessa. CLT-levyillä on mahdollista toteuttaa suuria aukotuksia ilman erillisiä pilareita tai palkkeja. CLT-levystä valmistetuissa seinissä on usein kolme rakennekerrosta. Sisimmäisessä kerroksessa on CLT-levy eli runko, jota voidaan käyttää myös rakennuksen valmiina sisäpintana. Keskimmäisessä kerroksessa on lämmöneristekerros. Ulommaisessa kerroksessa on ulkoverhous, joka suojaa rakennusta. Ulommaisen verhoukserroksen sekä keskimmäisen eristekerroksen väliin jätetään tuuletusrako. (CrossLam Kuhmo 2018b).

Massiivipuulevyistä tai CLT-levyistä voidaan rakentaa paikalla asuinpuukerrostalo. CLT-levyistä paikalla rakennettaessa työmaalle tarvitaan nosturi, jolla levyt voidaan nostaa. CLT-levyt voidaan joko asentaa suoraan tai välivarastoida myöhempää asennusajan kohtaa varten. CLT-levyjen liitokset toteutetaan järeillä ruuveilla ja levyjen saumat tiivistetään tiivistysmassalla. Yksinkertaisten liitosten käyttäminen vähentää huomattavasti suunniteltavien detaljien määrää. Kun runko on pystytetty, voidaan aloittaa tekniikan asentaminen sekä viimeistelytyöt. CLT-levyistä rakennettaessa pystytyksen jälkeen pystytään tekemään useita työvaiheita samanaikaisesti. (CrossLam Kuhmo 2018b).

### 3.5 Rankarakenteiset suurelementit

Rankarakenteiset suurelementit ovat Tolppasen et al. (2013, s.40) mukaan yleisin tapa rakentaa puurunkoinen rakennus. Rankarakenteisia suurelementtejä käytettäessä kantavat seinät ja ei-kantavat seinät ovat rakenneperiaatteeltaan samanlaisia. Seinärakenne voidaan matalissa rakennuksissa tehdä mitallistetusta sahatavarasta, mutta korkeammissa rakennuksissa käytetään usein insinööripuutuotteita, kuten liima- tai kertopuuta seinän rungossa. Rankarakenteisten suurelementtien ominaisuuksiin vaikutetaan rungon mitoituksella sekä erilaisilla levy- ja eristetyypeillä. (Tolppanen et al. 2013, s.40). Rankarunkoiset



rakennukset jäykistetään tyypillisesti käyttämällä levyjäykistystä. Levyjäykistyksessä välipohjan jäykistävä levytys kiinnitetään sen alla olevan seinän runkoon. Jäykistävät seinät, jotka sijaitsevat päällekkäin, voidaan ankkuroida toisiinsa välipohjan läpi teräsosilla. (Tolppanen et al. 2013, s.42).



**Kuva 5.** Periaatekuva rankarakenteisilla suurelementeillä toteutetusta ratkaisusta (Puu-info 2018).

Rankarakenteiset suurelementit koostuvat runkoltolpista, alasidepuista, yläsidepuista sekä tarvittavasta levytyksestä. Levytystä käytetään apuna rakenteen ja rakennuksen jäykistämiseksi. Suurelementtirakenteessa olevat ontelot täytetään palamattomalla eristeellä. Rankarakenteiset suurelementit, joita käytetään ulkoseinissä, ovat tavallisesti kerroksen korkuisia ja seinän pituisia suurelementtejä. Seinäelementtien enimmäispituus on tyypillisesti noin 12–14 metriä. (Tolppanen et al. 2013, s.40-41).

Huoneistojen väliset seinät toteutetaan kaksoisrunkoisina ääneneristyksellisistä syistä. Lisäksi ääneneristysten takia väliseinissä on oltava tarpeeksi massaa. Riittävän massan aikaansaamiseksi käytetään yleensä kipsilevyjä. Rankarakenteisilla suurelementeillä pystytään saavuttamaan hyvä ilmatiiviys sekä energiatehokkuus. Toisaalta tiiviiden varmistamiseksi on elementtirakentamisessa kiinnitettävä erityistä huomiota elementtien liitoksien tiiviyyteen. (Tolppanen et al. 2013, s.42).

Elementtien valmiusastetta pystyy vaihtelemaan. Yleensä elementteihin on valmiiksi asennettu ulkoeristys, ikkunat, ovet, lasitukset, tiivistykset ja listoitukset. Elementtejä pystytään myös toimittamaan työmaalle niin kutsuttuina avoimina elementteinä. Avoimissa elementeissä esimerkiksi lämmöneristystyöt sekä sisäpuoliset ver-

houkset tehdään vasta kun elementit on asennettu paikoilleen. Korkealla esivalmistusasteella mahdollistetaan nopea pystytys. Rakennuksen runkoa on mahdollista pystyttää jopa kerros viikossa käyttämällä korkean esivalmistusasteen elementtejä. Toisaalta valmispinta-aiset elementit ovat avoimia elementtejä alttiimpia vaurioille, jotka aiheutuvat esimerkiksi säästä, kuljetuksesta tai elementtien asennuksesta. Seinäelementtien ja välipohjaelementtien asennuksessa tarvitaan avuksi nostokalustoa, kuten esimerkiksi autonosturi tai kurottaja. (Tolppanen et al. 2013, s.41–42).

### 3.6 Tilaelementit

Tilaelementit ovat itsenäisiä tehtaalla valmistettuja valmiin rakennuksen lohkoja (Tolppanen et al. 2013, s.48). Tilakappaleet valmistetaan tehtaalla vakioiduissa olosuhteissa ja säältä suojassa, jonka jälkeen ne kuljetetaan rakennettavalle tontille. Tontilla tilakappaleet liitetään yhteen laajemmaksi rakennuskokonaisuudeksi. (Kotilainen & Hedman 2015, s.28). Rakennus pystytään kokoamaan nopeasti yhdistämällä näitä valmiita tilaelementtejä. Tilaelementtien kantavat rakenteet voidaan tehdä rankarakenteisista tasoelementeistä tai CLT-levystä. (Tolppanen et al. 2013, s.48).

Tolppasen et al. (2013, s.48–49) mukaan tilaelementtitekniikka on yleisin tapa rakentaa puukerrostaloja Ruotsissa ja useimmiten niiden kantava rakenne on tehty rankarakenteisilla tasoelementeillä. Puuinfo (2018) mukaan taas Suomessa on toteutettu tilaelementtitekniikalla puukerrostaloja lähinnä CLT-tilaelementtejä käyttäen. Suomessa on toteutettu CLT-tilaelementein esimerkiksi palvelukoti sekä useampia asuinpuukerrostaloja esimerkiksi Jyväskylään, Seinäjoelle ja Tampereelle, mutta rankarakenteisia tilaelementtejä ei ole vielä Suomessa kerrostalotuotannossa käytetty (Puuinfo 2018). Kesäkuussa 2018 ruotsalainen yhtiö Lindbäcks, joka valmistaa rankarakenteisia tilaelementtejä ja käyttää niitä rakentamisessa, ilmoitti sopineensa teknologiansiirrosta Suomeen yhteistyössä suomalaisen rakennusyrityksen kanssa (Lindbäcks Bygg Ab 2018).

Tyypillisesti tilaelementissä on valmiina lattia, seinät ja katto sekä niihin on asennettu valmiiksi LVIS-asennukset, kiintokalusteet sekä ikkunat ja ovet (Tolppanen et al. 2013, s. 48). Myös Kotilaisen ja Hedmanin (2015, s.28) mukaan tilaelementteihin voidaan tehdasoloissa rakentaa väliseinät, sisäpinnat ja kiintokalusteet sekä tehdä vesiputkityöt, viemäri-työt, ilmanvaihtotyöt ja sähkötyöt liitäntöjä vaille valmiiksi. Tilaelementtien valmiiden sisäpintojen suojaus sekä sääsuojaus on tärkeä huomioida kuljetuksen ja asennuksen aikana (Tolppanen et al. 2013, s. 48). On esitetty, että esivalmistuksen lisääminen ja rakentamisen siirtäminen vakioituihin tehdasoloihin voi olla eräänä ratkaisuna rakentamisen laatuongelmiin. Lisäksi esivalmistuksen lisääminen on esitetty olevan yksi mahdollisuus parantaa rakentamisen tuottavuutta. (Kotilainen & Hedman 2015, s.28).



**Kuva 6.** Tilaelementti valmistusvaiheessa (Puuinfo 2018).

Tilaelementtien tuotannossa on eduksi se, että tilaelementtien sarjat ovat mahdollisimman pitkiä. Pitkät sarjat mahdollistavat tilaelementtien tuotannon taloudellisuuden. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tilaelementit soveltuvat erityisesti tuotantoon ja rakennuksiin, joissa on paljon samanlaisia huonetiloja ja huoneistojen toistuvuus on suuri. Tilaelementtitekniikkaan hyvin soveltuvia käyttökohteita ovat esimerkiksi asuinrakennukset, asunotilat ja hotellit, joissa huonetilat ovat samanlaisia ja huoneistoissa on suuri toistuvuus. Tilaelementtien käyttäminen rakentamisessa tekee työmaavaiheesta erittäin nopean. Tilaelementtien ansiosta puukerrostalon valmiusaste voidaan saada jopa 90 prosenttiin, kun elementit on kuljetettu työmaalle ja asennettu työmaalla paikoilleen. (Tolppanen et al. 2013, s. 48-49).



**Kuva 7.** Valmis 4-kerroksinen CLT-tilaelementeistä rakennettu puukerrostalo (Kuva: Tuohimaa 2018).

Tilaelementeillä rakentaminen ja erityisesti niiden suunnittelu edellyttävät elementtien valmistusmittojen huomiointia erilaisissa tilaratkaisuissa. Lisäksi tilaelementtejä käytettäessä täytyy kiinnittää huomiota sekä kuljetuksen että asennuksen aikaiseen jäykkyyteen. Tilaelementtien tyypilliset enimmäismitat ovat 12 m x 4,2 m x 3,2 m (Puuinfo 2018). Tilaelementin kokoa rajoittavat tehtaiden tuotantolinjojen sekä nostolaitteiden lisäksi liikennelainsäädäntö (Kotilainen & Hedman 2015, s.32).

Tilaelementtien suunnittelussa tulee ottaa huomioon erilaiset kuljetuksille asetetut ja kuljetuksiin liittyvät rajoitteet (Tolppanen et al. 2013, s. 48). Tilaelementin tulee olla siirrettävissä ja kuljetettavissa, joten sen koolle on rajoituksia (Kotilainen & Hedman 2015, s.32). Kuljetukset, jotka ylittävät normaaliliikenteelle sallitut mitta- tai massarajat ovat erikoiskuljetuksia. Kaikille erikoiskuljetuksille ei tosin tarvita erikoiskuljetuslupaa. Ilman erillistä erikoiskuljetuslupaa voidaan EU- ja ETA-maissa rekisteröidyllä kuljetuskalustolla kuljettaa sellaisia erikoiskuljetuksia, joiden koot pysyvät niin kutsuttujen vapaiden mittarajojen sisällä. (ELY-keskus 2018). Erikoiskuljetusten suurimmat mitat eli niin sanotut vapaat mittarajat, jolloin erikoiskuljetukselle ei vielä tarvita erikoiskuljetuslupaa ovat esitetty kuvassa 8. Kuljetuksen koon ylittäessä erikoiskuljetusten suurimmat vapaat mittarajat, tulee hakea erikoiskuljetuslupa.

Erikoiskuljetuksen suurimmat mitat Liikenteen turvallisuusviraston määräyksen mukaan, joille ei tarvita kuljetuslupaa. Vaikka erikoiskuljetus ei tarvitsisikaan mittojensa perusteella lupaa, on aina noudatettava erikoiskuljetuksen merkitsemisestä ja varoitustoimenpiteistä annettuja määräyksiä.

Tiellä yleisesti sallittu korkeus 4,40 m koskee kaikkia tämän taulukon ajoneuvoja. Tätä korkeammalle kuljetukselle on oltava erikoiskuljetuslupa.

Ajoneuvo tai yhdistelmä, joka on rekisteröity EU- tai ETA- valtiossa	Leveys m <sup>1)</sup>	Pituus m <sup>1)</sup>	Suuremmalle mitalle saa kuljetusluvan
Kuorma-auto	4,00	12,00	Kyllä Ei <sup>2)</sup>
Kuorma-auto, jossa kuormaukseen soveltuva nosturi ja tuentalaiteet, kun kuormana on vene	4,00	12,00	Kyllä
Ajoneuvonkuljetusauto	3,50	16,00	Kyllä <sup>3)</sup>
Traktori ja ajoneuvonkuljetusperävaunu	3,50	20,00	Kyllä <sup>4)</sup> Ei
Omalla voimakoneella liikkuva ajoneuvo, jota ei ole tarkoitettu kuorman kuljettamiseen	4,00	20,00	Kyllä
Kuorma-auto ja varsinainen perävaunu	4,00	25,25	Kyllä Ei
Kuorma-auto ja varsinainen erikoiskuljetusperävaunu	4,00	30,00 <sup>5)</sup>	Kyllä
Kuorma-auto ja puoliperävaunu	4,00	40,00	Kyllä
Traktori ja perävaunu	4,00	20,00	Kyllä
Traktori ja kuormaamaton turvetuotantoperävaunu tai traktori ja hinattava laite	4,00	30,00	Kyllä
Pakettiauto	3,50	12,00	Ei
Kuorma-, henkilö- tai pakettiauto ja keskiakseliperävaunu	3,50	20,00	Ei Kyllä <sup>6)</sup>

**Kuva 8.** Erikoiskuljetusten suurimmat mitat, joille ei tarvita kuljetuslupaa (ELY-keskus 2017).

Tilaelementtirakentamisessa on rakentamisen lisäksi kulueriä jokainen tilaelementin koaminen, lastaus kuljetusta varten, kuljettaminen sekä nosto. Lisäksi tilaelementtien varastointi joko tehtaalla tai työmaalla on kuluerä. On kokonaiskustannusten kannalta sitä edullisempaa, mitä vähemmän tilaelementtejä kappalemääräisesti on ja mitä suuremmat tilaelementtikoot ovat. (Kotilainen & Hedman 2015, s55-56). Toisaalta Kotilainen ja Hedman (2015, s56) toteavat, että kokonaiskustannusten kannalta tilanteen voi muuttaa moni poikkeus.

Tilaelementtien suunnittelun ja tuotannon prosessien lisäksi Kotilainen ja Hedman toteavat kehitettävää olevan myös rakennustekniikassa ja talotekniikassa. Arkkitehtisuunnitteluun vapautta antaisi esimerkiksi se, että tilaelementtejä voitaisiin toteuttaa vaikkapa pohjamuodoltansa puolisuunnikkaan muotoisina. Lisäksi kehitettävää olisi laajojen tai jopa yhden sivun kattavien aukkojen osalta, jotka osaltansa parantaisivat puutilaelementtiasuntojen joustavuutta. Erityisesti rakennuksen pysyvän joustavuuden osalta talotekniset ja rakenteelliset varaukset kasvattavat kustannuksia niin asuntojen suunnittelussa kuin toteutuksessakin. Mahdollinen joustotarve ja muutosmahdollisuudet tulee huomioida talotekniikan järjestelmissä ja niiden suunnittelussa ja toteutuksessa. (Kotilainen & Hedman 2015, s.187–188).

Kotilaisen ja Hedmanin mukaan puutilaelementtirakentaminen on yleistymässä Suomessa. Puutilaelementtirakentamisen tuotantotapaan sisältyy potentiaalia energian säästön ja materiaalien säästön kannalta. Lisäksi tilaelementtirakentaminen uutena asuinrakennusten toteutustapana nähdään kiinnostavana. Haasteet tilaelementeissä liittyvät esimerkiksi tekniikkaan ja taloudellisuuteen, joita pitäisi pystyä parantamaan. Tärkeää olisi tilaelementtirakentamisessa tuoda mukaan asukaslähtöisiä suunnittelun prosesseja ja toteutuksen prosesseja, sillä tuotanto ja suunnittelu toistaiseksi hyvin tuotantokeskeisiä. Suurin vaikuttava tekijä tilaelementtirakentamisen tulevaisuuden kilpailukyvyyn kannalta on se, saadaanko puutilaelementtikerrostalolle ostajia. Kotilaisen ja Hedmanin mukaan ostajia pystytään varmistamaan tuottamalla asukaslähtöisiä ratkaisuja ja vaihtoehtoisia tilaratkaisuja sekä asukkaiden ja asuntokuntien asumiseen liittyvien arvostuksien sekä toiminnallisten tarpeiden parempaa tuntemusta. (Kotilainen & Hedman 2015, s.185-189).

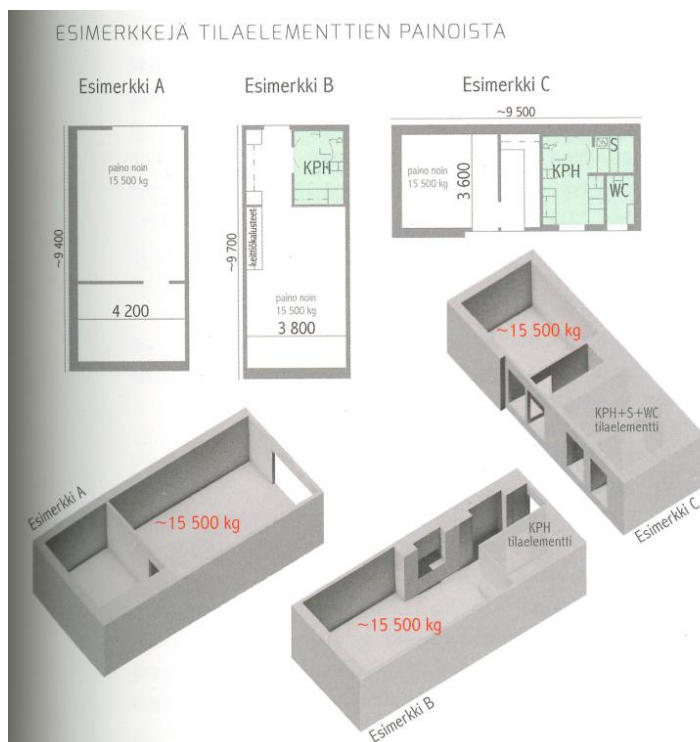
### 3.7 CLT-tilaelementit

CLT-tilaelementeistä rakennettaessa rakennuksen kantava ja jäykistävä rakenne on tilaelementin seinissä, yläpohjassa ja alapohjassa oleva CLT-levy. Tilaelementin seinä yleensä rakennetaan yhdestä CLT-levystä. Tässä tapauksessa CLT-levyn leveys ohjaa kerrostaloasunnon huonekorkeutta ja kerrostalon kerroskorkeutta. Tilaelementin maksimikorkeus vaihtelee toimittajittain. Tyypillisesti tilaelementeissä yläpohjan CLT-levy tuodaan seinien päälle, joten kerroskorkeutta tulee pelkän levyn lisäksi hieman enemmän. Esimerkiksi kerroskorkeus Stora Enson CLT-levyllä on 3,042 m ja CrossLamin CLT-levyllä 3,292 m. CLT-levyä voidaan käyttää myös pystyyn käännettyinä tilaelementin

seinissä, jolloin korkeutta voidaan saada enemmän. (Kotilainen & Hedman 2015, s.49–55). Toimittajakohtaisia CLT-levyjen maksimikokoja on käsitelty luvussa 5.3.

Tilaelementissä CLT-seinän aukon enimmäisleveydeksi suositellaan enintään 2 metriä. Vaihtoehtoisesti yksi tilaelementin seinistä voidaan toteuttaa pilari-palkkirakenteisena, jolloin aukosta saadaan isompi. Tilaelementin aukkojen määrää ja kokoa on rajoitettu pidemmällä seinillä. Lyhyellä ei-kantavalla ja ei-jäykistävällä seinällä voi olla suurempia aukkoja. Jos seinää käytetään jäykistyksessä, siihen ei suositella tehtäväksi suuria aukkoja. Käyttämällä pilari-palkkirakenteista aukon kohdalla, voidaan aukoista tehdä isompia. Esimerkiksi yksi CLT-levyn sijaan pilari-palkkirakenteella toteutettu seinä antaa tilaelementeistä rakennetun kerrostalon asuntosuunnitteluun lisää mahdollisuuksia. (Kotilainen & Hedman 2015, s.50)

Kuljetusten, työmaan nostolaitteiden, tehtaiden tuotantolinjojen ja tehtaiden nostolaitteiden lisäksi tilaelementtien kokoa, rajoittaa tilaelementtien paino, joka vaikuttaa niin ikään koon lisäksi myös asuntosuunnitteluun. Esimerkiksi CLT-massiivipuulevyn lisäksi painoa kertyy paljon lisää, mikäli tilaelementin sisällä on kylpyhuone-elementti. Tilaelementtien painoraja onkin riippuvainen niin tehtaasta kuin myös rakennustyömaan kalustosta ja ominaisuuksista. (Kotilainen & Hedman 2015, s.55-59). Kuvassa 9 on esitetty esimerkkejä tilaelementeistä ja niiden painoista.



**Kuva 9.** Esimerkkejä tilaelementtien painoista ja muodoista (Kotilainen & Hedman 2015, s.59).

Kotilainen ja Hedman (2015, s.58) esittelevät laskelmia tilaelementtien painoista. Laskelmissa todetaan esimerkiksi, että ulkomitoiltansa 9,4 m x 4,7 m x 350 kg/m<sup>2</sup> kokoinen ja

painoinen CLT-tilaelementti painaisi noin 15 500 kg ja esimerkiksi ulkomitoiltansa ja painoltansa 9,7 m x 4 m x 400 kg/m<sup>2</sup> CLT-tilaelementti, jossa olisi sisällä kylpyhuoneti-laelementti painaisi niin ikään noin 15 500 kg.

Tilaelementtirakentamisen etuna on esimerkiksi toteutusprosessin nopeus. Nopea toteutusprosessi helpottaa aikataulujen yhteensovittamista rakennushankkeessa. Nopea toteutusprosessi helpottaa lisäksi työvoiman tehokasta hyödyntämistä. Tilaelementtirakentamisessa rakennusvaiheen kesto on lyhyempi kuin paikalla rakennettaessa. Tilaelementtirakentamisen etuna onkin lyhyempi kesto esimerkiksi tilanteessa, jossa rakentamisesta aiheutuvat häiriöt rakennettavan kohteen ympäristölle tulee minimoida. Tehdasoloissa tehtävän tuotannon ansiosta materiaalihäviöt ovat pienemmät ja rakennusjätettä on helppompaa kierrättää. Lisäksi tehtaassa ollaan suojassa lumelta, vesisateelta kuten myös kylmyyden aiheuttamilta ongelmilta. Rakennettavalla tontilla esivalmistuksen ansiosta on vähemmän meluisaa, tulee vähemmän saastetta ja rakennusjätettä syntyy vähemmän. Tehtaassa tapahtuvan työskentelyn tasaiset työolot ja työn jäljen kontrolloiminen mahdollistavat todennäköisesti rakennusvirheiden ja työmaalla tapahtuvien tapaturmien vähentämisen. (Kotilainen & Hedman 2015, s.31).

Tilaelementtitekniikka hyödyttää työmaata, sillä erilliset valu ja juotosvalutyövaiheet jäävät pois. Lisäksi rakennusaikaiset kosteuskuormat pienenevät. Tilaelementtitekniikka käytettäessä puukerrostalon rakentaminen on nopeampaa kuin betonikerrostalon, sillä puukerrostalon rakennusajan arvioidaan olevan vain joitakin kuukausia. (CrossLam Kuhmo 2018b).

### 3.8 Rankarakenteiset tilaelementit

Puisilla tilaelementeillä rakentaminen voi lyhentää koko rakennusprosessin kestoja. Tilaelementit tehdään valmiiksi tehtaalla ja ne voidaan asentaa suoraan paikalleen työmaalla kuljetuksen jälkeen. Teollisessa esivalmistuksessa tilaelementit rakennetaan suojassa tuulelta ja säältä. (Elfström & Singh 2013). Ruotsissa Lindbäcks Bygg on rakentanut rankarakenteisista tilaelementeistä asuinkerrostaloja jo 1990-luvun alusta (Boverket 2006).

Tilaelementtien etuina nähdään kosteusvapaa rakennusympäristö, koska tilaelementit valmistetaan tehtaalla. Etuna on myös puun keveys, joka helpottaa kuljetuksia ja laskee niiden kustannuksia. Tilaelementtien valmistus tehtaalla auttaa siinä, että elementtien kanssa tehtävät työt tehdään saman katon alla ja osaaminen on aina paikalla. Tehdasvalmistuksen todetaan vähentävän hukkaa. Tilaelementtien valmistus tehtaassa luo paremmat työskentelyolosuhteet kuin rakennustyömaalla ulkoilmassa työskentely. Tehtaalla voidaan hyödyntää suurempaa määrää apuvälineitä ja työvälineitä. Elfström & Singh (2013) toteavat, että tilaelementtien ansiosta rakennusaika voi lyhentyä jopa 80%. Tilaelementtejä käytettäessä elementit varastoidaan tehtaalla ja asennetaan suoraan paikallensa työmaalla. Rakennusprosessi on tehokas, sillä tilaelementit tulevat työmaalle valmiina ja pelkästään asennetaan siellä paikalleen. Tehtaalla tehty valmistus mahdollistaa

paremman viimeistelytuloksen aikaansaamisen. Kaksinkertaisen lattia- ja seinärakenteiden ansiosta syntyy asuinrakennuksessa hyvä ääniympäristö. (Elfström & Singh 2013).

Tehtaassa tilaelementtien valmistus asettaa niille kokorajoitteita. Tilaelementeistä rakennettaessa pohjaratkaisun suunnittelussa on vähemmän joustavuutta. Kaksinkertaiset rakenteet suurentavat rakennepaksuuksia. Tilaelementtien käyttö vaatii enemmän suunnittelua ja suunnitelmien on oltava valmiina hyvissä ajoin. Tilaelementit ovat epäjoustavia muutoksille. Muutoksien tekeminen ei ole yhtä joustavaa kuin paikallarakentamisessa. Tilaelementtirakentamisella on ollut huono maine tietyissä piireissä, mistä on aiheutunut se, että tilaelementtitekniikkaa ei ole otettu projekteissa huomioon, vaikka tilaelementtien kehitys onkin merkittävästi edennyt. (Elfström & Singh 2013).

### 3.9 Pilari-palkkijärjestelmä

Pilari-palkkijärjestelmässä rakennuksen runko on joko kertopuuta eli viilupuuta eli LVL:ää tai liimapuuta. Pilari-palkkijärjestelmässä ulkoseinät, yläpohjat ja välipohjat yleensä tukeutuvat palkkien varaan. Pilari-palkkijärjestelmää käytettäessä ulkoseinät sekä väliseinät ovat usein ei-kantavia rankarakenteisia suurelementtejä. Pilari-palkkirunkoa käytettäessä esimerkiksi ulkoseinien osalta voidaan eristepaksuus sekä ulkoverhousmateriaali valita täysin kohteen mukaan. Pilari-palkkijärjestelmällä toteutettu rakennus jäykistetään yleensä mastopilarein ja vinositein. Lisäksi jäykistämisessä voidaan käyttää apuna levyjäykistystä. (Tolppanen et al. 2013, s.46–47).



**Kuva 10.** Periaatekuva pilari-palkkijärjestelmällä toteutetusta ratkaisusta (Puuinfo 2018).

Pilari-palkkijärjestelmän eduksi voidaan lukea suunnittelu- ja muuntojoustavuus. Pilari-palkkijärjestelmä mahdollistaa avoimen ja muuntojoustavan pohjaratkaisun sekä suuret aukotukset julkisivuissa. Muuntojoustavuus tulee siitä, että pilari-palkkirungossa kantavia väliseiniä ei ole, jolloin on mahdollista tehdä isojaakin muutoksia huoneistojen välillä.



Seinien paikkoja voidaan muutella valmistumisen jälkeenkin. Jännevälit pystytään toteuttamaan jopa 7,5 metriä pitkiksi pilari-palkkirungossa. Pilari-palkkirunko voidaan tehdä ja sijoittaa joko rakennuksen ulkoseinien tai väliseinien sisään tai rakennuksen sisätilaan seinistä erilleen. Pilari-palkkijärjestelmässä välipohjien primääripalkistot voidaan sijoittaa välipohjalaataston tasoon tai laataston alapuolelle. Välipohjat tyypillisesti rakennetaan joko sekundääripalkkien varaan levyistä kokoamalla tai vaihtoehtoisesti valmiista tasoelementeistä. Välipohjissa on useimmiten käytetty ripalaattavälipohjaelementtiä. (Tolppanen et al. 2013, s.46-47).

Pilari-palkkijärjestelmän muuntojoustavuutta pohdittaessa on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että huoneistojen välisiä seinä ei voi mihin kohtaan vain siirtää. Muutokset on syytä suunnitella huolellisesti jo etukäteen. Arkkitehtisuunnittelussa on hyvä ottaa huomioon myös rakennuksen runkoa jäykistävät vinositeet. Muuntojoustavuutta pilari-palkkirunkoisen talon seinien sijoittelussa rajoittaa se, että välipohjalaatat pitää katkaista huoneistojen välisten seinien kohdalla. Laattojen katkaisun tarve huoneistojen välisten seinien kohdalla johtuu värähtelyistä ja ääniteknisistä asioista. (Tolppanen et al. 2013, s.48). Pilari-palkkijärjestelmän etuja ei pystytä täysin hyödyntämään asuntosuunnittelussa (Viljakainen 1997, s. 68).

Viikin Latokartanon puukerrostalokortteli on toteutettu Metsä Woodin kerrostalojärjestelmällä, joka käsittää kertopuu-rakenteisen pilari-palkkirungon, välipohjat, kattoelementit sekä puuelementteinä toimitetut ulkoseinät. Viikin Latokartano valmistui vuonna 2012. Viime vuosina ei ole toteutettu muita asuinpuukerrostaloja pilari-palkkijärjestelmällä. (Puuinfo 2018).

Pilari-palkkijärjestelmän etuna toteutuksen kannalta on nopea runkovaihe. Vesikatto voidaan saada valmiiksi muutamassa päivässä, jonka jälkeen rakennus on sääsuojan alla. Puukerrostalorakentaminen erityisesti pilari-palkkijärjestelmällä on kevyttä ja nostoihin voi riittää esimerkiksi kevyt autonosturi. (Tolppanen et al. 2013, s.48, 177).

### 3.10 Alapohjat ja perustukset

Perustuksia suunniteltaessa tulee huomioida rakennuksen keveys. Puukerrostalo painaa vain noin viidesosan vastaavan kokoisesta kivitalosta. Puukerrostalon keveys tulee esille esimerkiksi tuulikuormien osalta, sillä tuulikuormaa vastustavaa pystykuormaa on niin vähän. Lisäksi keveys voi vaikuttaa perustamistapaan ja paalutusten tarpeeseen. Puukerrostaloissa alapohja voidaan tehdä yleensä maanvaraisella laattalla tai vaihtoehtoisesti tuulettuvana alapohjarakenteena. Puukerrostalojen maantasokerroksen alapohjaratkaisuna kuitenkin yleensä käytetään maanvaraista teräsbetonilaattaa. Maanvarainen lattia vaatii erityistä huolellisuutta veden- ja kosteudeneristysten näkökulmasta. Laatan lämmöneristuksen alla on oltava vähintään 20 cm paksu kapillaarisen kosteuden nousun katkaiseva kerros kuten esimerkiksi sepeli. Tuulettuvat alapohjarakenteet taas soveltuvat esimerkiksi

kalteville, epätasaisille tai huonosti kantaville maille. Käytettäessä tuulettuvaa alapohjarakennetta, mahdollistetaan myös alapohjarakenteen tekeminen puurakenteisena. Tuulettuvan alapohjarakenteen toimivuuden kannalta ensiarvoisen tärkeitä asioita ovat alapohjaonteloiden riittävä kuivuus sekä tuuletus. Tuulettuvan alapohjan on oltava ilmatiivis. Tiiviyyteen on kiinnitettävä huomiota erityisesti ulkoseinän ja alapohjan liittymissä. Myös putkien sekä johtojen lävistyskohtien tiiviys on tärkeää. (Tolppanen et al. 2013, s.52-53).

Rakennejärjestelmien vaikuttaa olennaisesti perustuksiin sekä alapohjarakenteisiin. Koivunen (2016) käsittelee diplomityössään runkojärjestelmän valinnan vaikutusta perustuksiin. Pilari-palkkijärjestelmässä pilareiden alle tulevat pistemäiset anturat. Kantavat seinät-järjestelmässä kantavien seinien alle tulee nauha-anturat. Tilaelementtien kohdalla taas ei voida yksiselitteisesti todeta perustusratkaisua, vaan perustukset on suunniteltava tapauskohtaisesti. Perustusten suunnitteluun ja mitoitukseen vaikuttaa olennaisesti runkojärjestelmän valinnan lisäksi rungon materiaali. Rakennejärjestelmän lisäksi anturoiden ja perustusten mitoitukseen ja suunnitteluun vaikuttaa olennaisesti rakennukselta tulevat kuormat, anturoihin kohdistuvat voimat sekä anturan alla olevan maaperäolosuhteet ja maaperän kantavuus. (Koivunen 2016).

Perustuksia ja alapohjia rakennettaessa betonista täytyy huomioida se, että puuelementtien mittatoleranssit ovat tiukemmat kuin vastaavat betonielementtien mittatoleranssit. Tämä johtaa siihen, että perustusten ja alapohjien betonirakenteet on tehtävä puuelementteihin sopivilla mittatoleransseilla. (Kryssi 2014).

Perustusten ja alapohjarakenteiden suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon Radon, joka on radioaktiivinen jalokaasu. Radonpitoisuuksiin voidaan vaikuttaa perustusratkaisuilla. Perustusratkaisuissa voidaan vaikuttaa tekemällä maanvaraiset alapohjat ja ryömintätilaiset ratkaisut riittävän tiiviiksi. Ryömintätilaisissa ratkaisuissa on huolehdittava myös riittävästä tuuleutuksesta. Tiivistyksestä on huolehdittava myös erityisesti rakennusosien liittymien kohdalla. (Siikanen 2016, s.233–234). Perustelumuihistiossa, joka koskee ympäristöministeriön asetusta uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta todetaan, että asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi  $200 \text{ Bq/m}^3$  (Ympäristöministeriö 2017).

### 3.11 Välipohjat

Puurakenteisia välipohjia on olemassa muutamia erilaisia. Välipohjarakenteina voi olla esimerkiksi rankarakenteinen palkkivälipohja, CLT-rakenteinen välipohja, ripalaatta, käännetty ripalaatta, NR-palkkivälipohja ja puubetoniliittolaatta (Tolppanen et al. 2013, s.62–63). Viljakaisen (2005) mukaan saavutettaviin jänneväleihin voidaan vaikuttaa palkkien koolla, palkiston jaolla sekä palkkityypillä. Tolppasen et al. (2013, s.44) mukaan CLT-massiivipuulevystä tehtyjen välipohjien maksimi jänneväli on käytännössä 6 metriä, joka johtuu Suomen tiukoista värähtelykriteereistä. CLT-levyä käytetään välipohjissa usein yhdessä betonin kanssa puubetoniliittorakenteena tai yhdessä palkiston kanssa

(Tolppanen et al. 2013, s.45). Jos jännevälejä halutaan kasvattaa, onnistuu se puubetoniliittorakenteella. (Tolppanen et al. 2013, s.42). Kuvassa 11 on esitetty puuvälipohjilla saavutettavia jännemittoja.

## Puuvälipohjilla saavutettavia jännemittoja

Välipohjan kantava rakenne	Välipohjan kokonaispaksuus	Saavutettava jännemitta
Puubetoniliittorakenne	400 - 500 - 550 - 600 mm	5 - 6 - 7 - 8 m
Ripalaatta	450 - 500 - 550 - 600 mm	5 - 6 - 7 - 8 m
CLT	400 - 450 mm	5 - 6 m

**Kuva 11.** Puuvälipohjilla saavutettavia jännemittoja (Puuinfo 2018).

Puurakenteiset välipohjat huoneistojen välisissä välipohjissa ovat osastoivia rakenteita, joten niitä koskee määräysten edellyttämät vaatimukset palonkeston sekä ääneneristysten osalta. (Siikanen 2016, s.174). LVIS-tekniikan asennusten takia sekä palo- ja äänitekniikasta syistä johtuen on puukerrostalojen kantavan rakenteen alapuolella käytettävä koo-laus- ja levykerroksia (Tolppanen et al. 2013, s.66). Palotekniikka ei enää ohjaa täysin levyttämään välipohjiakaan, sillä ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta mahdollistaa osan rakenteen suojaverhoamatta jättämisen tietyin ehdoin (848/2017). Sisäpintojen suojaverhousta on käsitelty aiemmin luvussa 4.3.

Tolppasen et al. (2013, s.164) mukaan puukerrostalojen välipohjat toimivat kaksirakenteisten seinien tapaan jousi-massayhdistelmänä. Massoina puuvälipohjissa toimii usein alakattolevytys alapinnassa ja kansirakenne välipohjapalkkien päällä. Perinteisesti puukerrostalojen välipohjissa on kelluva pintalaatta. Välipohjien alakattorakenteet taas on usein asennettu jousirankojen varaan. Nämä rakenteet yhdessä sekä jousirangan varaan kiinnitetyt levykerrokset vähentävät välipohjien liittymissä tapahtuvia äänen sivutiesiirtymiä. Välipohjien ääneneristystä pystytään parantamaan myös esimerkiksi lisäämällä välipohjan massaa. (Tolppanen et al. 2013, s.164). Tolppasen et al. (2013, s.49) mukaan massaa voidaan lisätä esimerkiksi betonivaluilla tai kipsivaluilla. Massan lisäys voi tapahtua esimerkiksi tekemällä kelluva pintalaatta tai tekemällä välipohja puubetoniliittorakenteena. Pui-sen välipohjan päällä oleva pintalaatta voi olla joustavan kerroksen, esimerkiksi askeläänieristeen päällä oleva kelluva pintalaatta. Pintalaattoja tehtäessä, on huomioitava niiden irrottaminen seinästä ja muista pystyrakenteista noin 5–10 mm verran, jotta äänisilloja ei pääse syntymään. (Tolppanen et al. 2013, s.164-167). Puukerrostaloissa voi olla kelluvan valettavan pintalaatan sijasta kelluva levyrakenteinen pintalattiakin. Levyrakenteisessa pintalattiassa LVS-asennukset voidaan tehdä pintalattian alla suojaputkessa, jos eristekerroksen paksuus on 50 mm. (Tolppanen et al. 2013, s.65).

Välipohjien kannakevalinta vaikuttaa olennaisesti LVIS-tekniikan asennuksien tekemiseen. Esimerkiksi hyvin tiheä kannakejako vaikeuttaa suurien viemäriputkien sijoitta-

mista palkkiväleihin. Palkkeja vastaan kohtisuorasti kulkevat putkilinjat ovat myös haastavia työteknisesti. (Tolppanen et al. 2013, s.64). Välipohjia joudutaan myös usein aukottamaan. Välipohjissa tarvittava aukotus ei usein sovi välipohjan palkkijaotukseen, jolloin kuormat tulee siirtää aukon reunoille siirtopalkkien avulla. Siirtopalkit tukeutuvat aukon reunoilla oleviin kantaviin seiniin, pilareihin tai vahvistettuihin välipohjapalkkeihin. (Siikanen 2016, s.264).

Välipohjat voidaan toimittaa työmaalle tasoelementteinä esimerkiksi siten, että niissä on vähintään kantavat rakenteet valmiina. Kun välipohjissa käytetään tasoelementtejä, saadaan rakennuksen runkovaiheessa aina kerroksittain valmis työtaso. Rankarakenteiset välipohjaelementit ovat tyypillisesti 1800–2400 mm leveitä tasoelementtejä. Välipohjaelementtien asentamiseen tarvitaan nostokalustoa, esimerkiksi autonosturia tai kurottajaa. (Tolppanen et al. 2013, s.42, 45, 65).

### 3.12 Yläpohjat

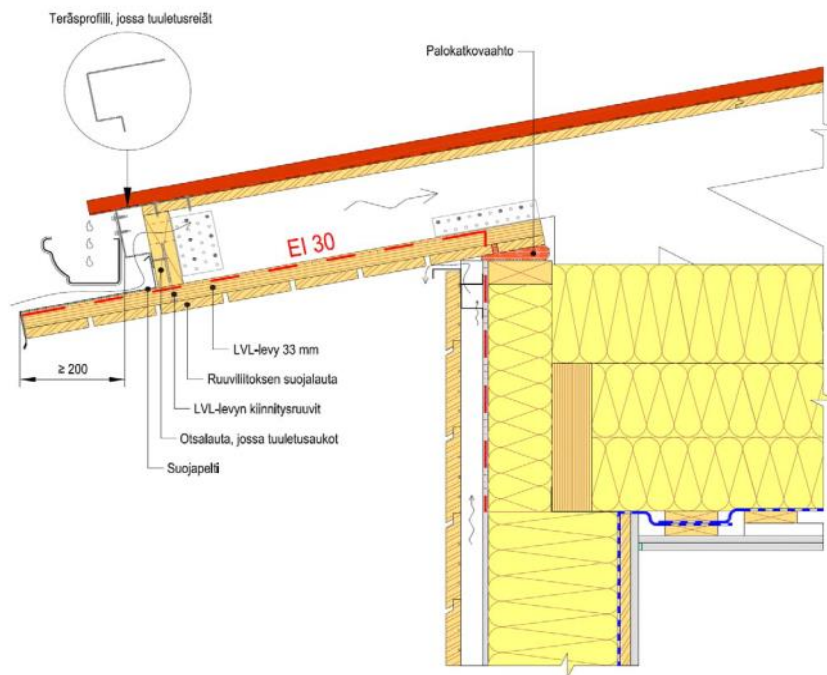
Vesikatto ja yläpohja muodostavat yhdessä toiminnallisen kokonaisuuden. Yläpohjarakenteilta vaaditaan tarpeeksi kantavuutta, lämmöneristävyyttä sekä tiiviyyttä. Yläpohjan kannattamiseen sopivat esimerkiksi kattoristikot, liimapuupalkit, massiivipalkit, viilupuupalkit sekä kevennetyt uumapalkit. (Siikanen 2016, s.267). Yläpohjarakenteissa voidaan käyttää myös erilaisia CLT-, arina- ja yhdistelmärakenteitakin (Tolppanen et al. 2013, s.66). Massiivipalkeilla saavutetaan yleensä enintään 4–5 metrin jännevälit, k600 mm palkkivälillä. Viilupuulla ja uumapalkeilla päästään jänneväleissä noin 7 metriin. Kattoristikoilla ja liimapuupalkeilla taas jänneväli ei normaalissa tilanteessa aseta teknisiä rajoituksia. Kattoristikoilla ja liimapuupalkeilla on mahdollista tehdä useiden kymmenien metrien jännevälejä. Kattoristikoita tehdään enenevässä määrin naulalevyliitoksilla. (Siikanen 2016, s.267–270).

Yläpohjan tyypilliset rakennekerrokset Tolppasen et al. (2013, s.67) mukaan ovat palkkirakenteisessa yläpohjassa suojaverhous ja palonsuojaus, alakaton kantava rakenne, jossa on tila myös sähkö- ja sprinkleriasennuksille, ilman- ja höyrynsulun tukilevy, sekä ilman- ja höyrynsulku, kantava rakenne sekä lämmöneristys, tuulensuoja ja lämmöneristys, tuuletusrako, vesikatteen alusrakenne ja jäykistävä levytys ja viimeisenä vesikate. Palkkirakenteisissa yläpohjissa rakenteen jäykistää vesikatteen alustana toimivat jäykistyslevyt, jotka on tukevasti kiinnitetty suoraan kannakepalkkeihin. CLT-massiivipuulevystä tehdyssä yläpohjassa, toimii CLT-levy itsessään kantavana ja jäykistävänä rakenteena, sekä ilman- ja höyrynsulkuna ja osana lämmöneristettä. CLT-levyä käytettäessä myöskään ei tarvita erillistä alakaton kantavaa rakennetta, sillä verhoukset voidaan kiinnittää suoraan levyyn. Ristikkorakenteissa jäykistävä levytys sijoitetaan joko alapäärtteen tai yläpäärtteen tasoon. (Tolppanen et al. 2013, s.66–69).

Kaikissa yläpohjaratkaisuissa tulee yhtä lailla ottaa huomioon sisäkattoverhoukset, höyrynsulku, kannatus, lämmöneristys, tarvittava tuulensuojaus, toimiva tuuletus sekä vesikaton kate ja katteensuoja (Siikanen 2016, s.267–273). Tolppasen et al. (2013, s.70–71) mukaan puukerrostaloissa vesikatteina voidaan käyttää tiilikatteita, petikatteita, bitumikatteita ja kumibitumikermikatteita. Vesikatteen alustaksi suositellaan levyrakennetta, joka toimii alustan lisäksi jäykistävänä vaakarakenteena ja kattokannattimien sivuttaistukena.

Tehdasvalmisteisilla naulalevyristikoilla voidaan saada edullisesti sopiva vesikatteen muoto ja lisäksi valmis runko vesikaton ja ylimmän kerroksen sisäkaton. Ristikkorakenteita on kuitenkin hankala elementoida, mikä lisää työmaalla tehtävän työn määrää. Muutoin pystytään puukerrostaloissa yläpohjan runko sekä vesikattorakenteet elementoimaan. Esivalmistettujen vesikattoelementtien ansiosta voidaan parantaa rakentamisnopeutta ja etuna on myös säävalmius. Elementit voidaan toimittaa esimerkiksi sellaisessa valmiusasteessa, että niissä on valmiina aluskatemateriaali, yläpohjan lämmöneristeet, ilman- ja höyrynsulku sekä sisäpuoliset pintaverhoukset. (Tolppanen et al. 2013, s.69).

Erityistä huomiota tulee kiinnittää yläpohjan ja ulkoseinän liitoksissa rakenteen höyry- ja ilmantiiviyyteen sekä lämmöneristeen saumattomuuteen. Tyypillisimmin lämpövuotoja esiintyy rakennusten yläpohjissa ulkovaipan ja yläpohjan liitoksissa, väliseinän ja yläpohjan liitoksissa, savupiipun ja palomuurin liitoksissa, yläpohjan höyrynsulun lävistävissä sähköasennus, antenni-, ilmanvaihto- ja muissa läpivienneissä. (Siikanen 2016, s.271).



**Kuva 12.** Paloräystäs toteutettuna räystään alapinnassa olevalla osastoivalla LVL-levyllä (Puuinfo 2016).

Yläpohjan lisäksi puurakentamisessa tulee huomioida paloräystäät. Puuinfon (2016) mukaan paloräystäiden tarkoituksena on estää palon leviäminen julkisivusta ullakkoon ja yläpohjaan. Palon leviämistä julkisivusta ullakkoon ja yläpohjaan tulee rajoittaa siten, että se vastaa EI30-rakennusosaa (848/2017). Räystäään ontelo katkaistaan siten, että palo ei pääse helposti kiertämään ulkokautta ullakon osastorajan yli (Ympäristöministeriö 2017).

### 3.13 Parvekkeet

Parvekerakenteet voidaan toteuttaa siten, että ne tukeutuvat runkoon, ovat ulokkeellisina tai erilliskannatettuina joko osittain tai kokonaan. (Viljakainen 2005). Parvekerakenteita on kolme erilaista tyypillistä ratkaisua, pilariparveke, vetotankoparveke ja pieliparveke. Parvekkeet voidaan kannattaa puukerrostaloissa rungosta erillään olevilla pilariratkaisuilla. Suunnittelussa ja toteutuksessa täytyy huomioida, ettei parvekkeen tai rakennusten runkoon synny ajan myötä liikaa painumia, jotka johtaisivat haitallisiin korkeuseroihin runkojen välillä. Parvekevälipohjat voidaan tehdä elementeistä. (Tolppanen et al. 2013, s.73–75).

Parvekerakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa on huomioitava pitkän aikavälin rakennusrungon painuminen, sekä sen mahdollisesti aiheuttamat muutokset kallistuksiin. Parvekerakenteiden liittymissä on tärkeää se, että mahdolliset sade- ja sulamisvedet eivät pääse tunkeutumaan ulkoseinärakenteisiin. Tolppanen et al. (2013, s.73) suosittelevat parvekevedenpoistossa käytettäväksi syöksytorvia. Parvekkeiden sade- ja sulamisvedet tulee ohjata suunnitelmien mukaisesti pois, esimerkiksi sadevesiviemäriin. (Tolppanen et al. 2013, s.73).

Kryssin (2014) mukaan sisäänvedetyt parvekeratkaisut pystytään tekemään kaikilla rakentamistekniikoilla ja rakennejärjestelmillä. Helpointa kuitenkin sisäänvedetyt parvekkeet on toteuttaa kantavat seinät-rakennejärjestelmässä.

P2-paloluokan yli 2-kerroksisissa rakennuksissa tulee olla varateinä käytettäväksi suunnitelluilla parvekkeilla tarkoitukseen sopiva ja hätäkeskukseen kytketty automaattinen sammutuslaitteisto. Parvekkeiden palonkestävyysaika vaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden palonkestoajan vaatimuksesta. Parvekkeissa noudatetaan pintojen paloluokkavaatimusten osalta ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia.

Parvekkeiden pinnoista sanotaan ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta:

*” Kuitenkin enintään 28 metriä korkean rakennuksen varatie käyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen vaatimus, pois lukien lattiat, on B-s2, d0. Edellä mainitusta poiketen, P2-paloluokan yli 2-kerroksisen rakennuksen parvekkeen palkit ja pilarit voivat olla D-*

*s2, d2 -luokkaa, jos parveke on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita”.* (848/2017).

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta sanotaan parvekkeiden osalta myös seuraavaa:

*”Palo ei saa levitä ulkoseinän tai parvekkeen kautta palo-osastosta toiseen määrätyn ajan kuluessa.*

*Lasitetuilla parvekkeilla palon leviämistä parvekkeelta toiseen ja viereiseen palo-osastoon on rajoitettava. Yli 2-kerroksisen rakennuksen lasitetun parvekkeen parvekelaatan osastoivuusvaatimus on EI 30, kuitenkin vähäiset tiivistävät osat ja läpiviennit voivat olla E 15 -luokkaa. Jos vierekkäisten lasitettujen parvekkeiden vastakkaisten seinien välinen vapaa väli tai seinän etäisyys viereisen palo-osaston ikkunaan on alle kaksi metriä, on kyseisen seinän oltava luokkaa EI 15.”.* (848/2017).

### 3.14 Puukerrostalon elementit tuoteosakauppana

Tuoteosalla tarkoitetaan teknistä ja toiminnallista osakokonaisuutta rakennuksesta, jossa toimittaja vastaa kokonaisuudessaan tuotteen suunnittelusta, valmistuksesta ja asentamisesta toimitussopimuksen rajaamassa ja määrittelemässä laajuudessa. (Kilpeläinen et al. 2001). Sabelströmin (1998, s. 7) mukaan rakennuttajat jakavat laajoja kokonaisuuksia itsenäisiin toimituskokonaisuuksiin. Ratkaisu tähän on tuoteosakauppojen tekeminen.

Tilaajan on huomioitava se, että tuoteosakauppaa käytettäessä suunnitteluvastuu ja suunnittelukustannukset siirtyvät tuoteosatoimittajalle, mikä vaikuttaa hinnoitteluun. Puurakentamisen suuri suunnittelumäärä ja sen vaikutus hintaan tulee ymmärtää suunnittelua kilpailutettaessa, sillä muuten suunnittelijat eivät välttämättä ole täysin sitoutuneet suunnittelutehtävän läpiviemiseen. (Sabelström 1998, s.66–67).

Sabelströmin (1998, s.27) mukaan As Oy Lahden Pinjassa tuoteosakauppoihin kuului viitesuunnitelmien mukaisten tuoteosien suunnittelu, valmistus ja asennus sekä runkovaiheen työjohto, materiaalit, tuoteosien varastointi, suojaus, nosto ja siivous.

Sabelström (1998, s.54) mainitsee, että As Oy Lahden Pinjan tuoteosatoimittajan mukaan on kannattavaa valmistaa elementit tehtaalla, koska tällöin tuotanto-olosuhteet pystytään pitämään vakioituina. Valmistuksen ja asennuksen asettamat reunaehdot tulisi huomioida myös rakennuksen suunnittelussa. Materiaalihukan minimoimiseksi tulisi suunnittelussa huomioida tavallisimmat rakennusmateriaalien koot sekä mitoitusperiaatteet (Sabelström 1998, s.55).

## 4. HAASTATTELUTULOKSET

### 4.1 Haastattelujen suoritus

Tutkimuksessa haastateltiin puurakentamisen asiantuntijoita, rakennuttajia, sekä puuelementtitoimittajia. Haastattelut olivat luonteeltaan teemahaastatteluja. Haastattelutilanteissa keskusteltiin avoimesti ja laajasti puurakentamisesta, sen hyödyistä ja haasteista sekä eri rakennejärjestelmiin liittyvistä asioista ja puukerrostalojen toteutuksesta. Haastateltavien valinnassa keskityttiin henkilöihin, jotka tuntevat puurakentamisen taustat ja ovat olleet puurakentamisen kanssa tekemisissä. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa haastateltavat, heidän roolinsa sekä heidän edustamansa organisaation laatu.

***Taulukko 1.** Tutkimuksessa haastatellut henkilöt ja heidän roolinsa.*

Haastateltava:	Toimija:	Rooli:	Ajankohta:
H1	Sosiaalinen asuntotutkimus	Rakennuttajainsinööri	8.6.2018
H2	Asuntorakentaja	Toimitusjohtaja	8.6.2018
H3	Edunvalvontajärjestö	Toimitusjohtaja	11.6.2018
H4	Puuosatoimittaja	Liiketoiminnan kehityspäällikkö	20.6.2018
H5	Puuosatoimittaja	Tekninen johtaja	21.6.2018
H6	Puuosatoimittaja	Toimitusjohtaja	26.6.2018
H7	Edunvalvontajärjestö	Toimitusjohtaja	6.7.2018

Ennen haastatteluja soitettiin haastateltaville ja tiedusteltiin halua osallistua. Haastateltaville lähetettiin sähköpostitse läpikäytävät teemat. Haastattelut suoritettiin kasvotusten, puhelimitse tai Skypen avulla. Haastattelujen kestot vaihtelivat tunnista hieman reiluun kahteen tuntiin. Haastattelujen aikana kirjoitettiin jatkuvasti ylös muistiinpanoja keskustelluista asioista. Haastattelujen muistiinpanot lähetettiin haastatelluille ja näiden antamien kommenttien pohjalta täydennettiin tai karsittiin haastattelumuistioden sisältöä. Haastattelumuistioden ja annettujen korjausten pohjalta kirjoitettiin teksti puhtaaksi ja vietiin diplomityöhön haastattelutuloksiksi.



Haastatteluissa pystyttiin yleisellä tasolla, vaikka joitain kohdekohtaisia ja toimittajakoh-  
taisia esimerkkejä ja huomioita esiin nousikin. Teemahaastattelun aihepiirit ja tietyt val-  
miiksi laaditut kysymykset aseteltiin siten, että niitä voitaisiin soveltaa laajemminkin ja  
haastatteluista saatava tieto tulisi yleisellä tasolla. Haastatteluissa ei käyty asioita läpi  
kohdeyrityksen kerrostalokohteen avulla.

Haastatteluissa läpikäydyt teemat olivat asuinpuukerrostalorakentamisen tavoitteet, kil-  
pailukytekijät, kilpailuedut, haasteet sekä tulevaisuuden kehitys ja muutostarpeet ra-  
kennuslalla puurakentamisen kilpailukyyn lisäämiseksi. Lisäksi teemoina olivat raken-  
nejärjestelmän valinta ja siihen liittyvät asiat sekä eri rakennejärjestelmien toteutukseen  
liittyvät asiat. Haastatteluissa tiedusteltiin kokemuksia rakennejärjestelmillä rakentami-  
sesta, sekä rakennejärjestelmien hyötyjä, haasteita ja riskejä rakenteen sekä toteutuksen  
näkökulmasta. Teemana käsiteltiin myös puurakentamisen kustannuksia.

## 4.2 Puukerrostalorakentamisen tavoitteet

Haastattelujen pohjalta selvitetään luvussa, mitkä ovat syyt lähteä puukerrostalorakenta-  
miseen. Lisäksi haastatteluiden pohjalta selvitetään, mitkä ovat tavoitteet puukerrostalo-  
rakentamisella.

Tavoitteena puukerrostalorakentamisessa on saada tuotua puu vaihtoehtona betonin rin-  
nalle. Puukerrostalorakentaminen tarjoaa mahdollisuuden valita ekologinen vaihtoehto  
asumisessa ja rakentamisessa. Yksilön valinnan painotus asumiseen liittyvien valintojen  
kanssa mahdollistuu ja tulee ilmi puukerrostaloissa. Kuluttajamarkkinassa puukerrostalot  
voisivat hyvinkin täydentää sekä tukea kuluttajien ekologista ajattelua. (H6). Kuluttajan,  
asujan tai asunnonostajan hyöty asuinpuukerrostalorakentamisessa on se, että puukerros-  
talot takaavat valinnan mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja asumistavan näkökulmasta. Puu-  
kerrostaloilla saavutettava laatu ja ylipäättään laatuasiat ovat yksi houkutus puukerrostalo-  
lohankkeisiin. (H3).

Rakennuttajien ja tilaajien kannalta saatetaan puukerrostalorakentamiseen lähteä mu-  
kaan, jos on kuluttajia, jotka kyselevät asuinpuukerrostalojen perään. Syynä voi olla li-  
säksi se, että kunta kaavoittaa puukerrostalorakentamiseen tontteja. Tällöin puukerrostalo-  
rakentaminen mahdollistaa tonttien saamisen ja sitä kautta rakentamisen. Lisäksi ympä-  
ristöasiat voivat antaa syyn lähteä mukaan puukerrostalorakentamiseen. Rakennusliik-  
keiden näkökulmasta puukerrostaloja rakennetaan, jos ne ovat toteutettavissa, nopeasti  
tehtävissä ja kannattavaa liiketoimintaa. (H3).

Yritysten näkökulmasta puurakentamiseen ajavista ajureista tuottavuuskehitys onkin yksi  
tärkeimmistä. Isot kansainväliset yritykset ovat pohtineet, että betonirakentaminen on tu-  
lossa kehityksen tiensä päähän. Betonirakenteissa on hankalaa enää savuttaa samanlaista  
tuottavuusparannusta, kuin mihin puuta käyttämällä on mahdollisuuksia. Rakennusmark-

kinassa toimivat yritykset miettivät, miten rakentamista voidaan nopeuttaa, työn tuottavuutta parantaa, miten voidaan minimoida ja pienentää haitat jo olemassa olevalle ympäristölle. Lisäksi mietitään, miten liikenne ja logistiikka saadaan ratkaistua tehokkaasti ja järkevästi. Toisaalta yrityksissä mietitään, mitä työllistämispaineita alalla esiintyy ja missä työvoimakapeikkoja on ja miten ne ratkaistaan. Kun rakennustuotteiden ja suurempien kokonaisuuksien valmistusta viedään tehtaalle teollisiin olosuhteisiin maakuntiin, on siellä mahdollista tehdä ja teettää osaavalla ja ammattitaitoisella työvoimalla töitä. (H7).

Yhtenä syynä olla mukana asuinpuukerrostalorakentamisessa on se, että valtiovalta ajaa puurakentamista eteenpäin. Toisena syynä ovat ekologisuusasiat. Suomessa on paljon teollisuutta, jolla on kapasiteettia tuottaa puurakentamista. Puukerrostalorakentaminen tuo puutuoteteollisuudelle tilauksia, mikä on hyvä asia. Asuinpuukerrostaloista on saatu hyviä käyttäjä- ja asukaskokemuksia. Puukerrostalojen asukaskyselyjen tulokset ovat olleet hyviä. Asuinturvallisuuteen ja ääneneristävyyteen ratkaisut ovat olemassa, mutta niitä ei juuri markkinoinnissa käytetä vielä. (H5).

Asuinrakentamista tapahtuu paljon tällä hetkellä Suomessa. Rakentaminen on paljon ekologisempaa, kun se tapahtuu uusiutuvista luonnonvaroista. Rakentamisen tarve on suuri ja siihen pitää pystyä vastaamaan ekologisella ja kestäväällä tavalla. (H4). Puurakentamista ajaa ilmastonmuutokseen liittyvät asiat ja ympäristötietoisuuden lisääntyminen. Rakentaminen aiheuttaa eniten päästöjä maailmassa. Puu on tähän haasteeseen erittäin hyvä vastausvaihtoehto käytännössä ainoana uusiutuvana rakennusmateriaalina. Asuinpuukerrostalorakentaminen on osittain lähtöisin isoista megatrendeistä. Kerrostalorakentamista tukee esimerkiksi kaupungistuminen, kasvukeskusten kehittyminen, digitalisaatio, elämäntapamuutokset, väestön liikkeet ja väestönkasvu. Puutuotteiden ja puurakentamisen on päästävä mukaan sinne, missä tapahtuu paljon, eli kaupunkirakentamiseen. Mainitut asiat antavat myös selkänokan poliittiselle päätöksenteolle, joka koskee puun käyttöä rakentamisessa. Puukerrostalorakentamisen ja sen kehityksen kannalta on tärkeää miettiä, mitkä ovat ne markkinat, jolla toimitaan ja mihin pitäisi keskittyä. (H7).

Puualan näkökulmasta puukerrostalorakentaminen auttaa puun käytön laaja-alalistamiseen ja lisäämiseen. Puun käyttäminen laaja-alaisesti rakentamisessa osaltaan tasaa puualan suhdannevaihteluja. Ylipäättään puurakentaminen palvelee koko metsäteollisuutta. Puukerrostalorakentaminen ja puurakentaminen auttavat kilpailun ja tarjonnan lisääntymiseen. Kilpailun lisääntyminen on hyvä asia monessa suhteessa. Siitä voi seurata teknisiä hyötyjä ratkaisujen kehittymisen myötä, taloudellisia hyötyjä hinnan ja tehokkuuden paranemisen kautta ja laadullisia hyötyjä osaamisen kehittymisen ansiosta. (H3).

Haastateltavan H1 (2018) mukaan toteutetussa hankkeessa yhtenä tavoitteena puukerrostalorakentamisessa oli puurakentamisen edistäminen. Haastateltavan H1 organisaatiolla oli näkemys lähteä koittamaan ja edistämään puukerrostalorakentamista osaltaan. Organisaatio on puurakentamisen edistämisyhmässä mukana. Samanaikaisesti kaupunki vei konkreettisesti eteenpäin puurakentamista, sillä puurakentaminen oli viety kaavoitukseen

mukaan. Organisaatiossa ei ollut ennen rakennettu puukerrostaloja ja tavoitteena oli tehdä koerakentamishanke, jossa testattiin, pystytäänkö puukerrostalo toteuttamaan ARA-hintaisena. (H1).

### 4.3 Puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijät

Haastattelujen pohjalta esitellään puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijöitä. Lisäksi luvussa käsitellään puukerrostalorakentamisen hyötyjä yleisesti.

Asuinpuukerrostalorakentamisessa erittäin isoksi ja potentiaalisesti hyödyksi nähdään mahdollisuus hyödyntää teollista esirakentamista. (H1, H2, H4). Teollisen esivalmistuksen ansiosta puun avulla on mahdollista rakentaa nopeammin (H4). Teollinen esirakentaminen nähdään kaikkien osapuolten kannalta hyväksi asiaksi. Puurakentamisen avulla on mahdollista saada korkea esivalmistusaste, joka on selkeä kilpailukykytekijä. (H1). Puu materiaalina mahdollistaa työstämisen muualla kuin rakennuspaikalla. Teollisen rakentamisen avulla voidaan tehostaa rakentamista, parantaa laatua, pienentää hukkaa ja parantaa työergonomiaa. Kosteudenhallinta pystytään tehdasoloissa ja teollisen rakentamisen avulla järjestämään paremmin. Näiden asioiden lisäksi työturvallisuuskin parantuu teollisen rakentamisen ansiosta. Teollinen rakentaminen voi jopa mahdollistaa myös harmaan talouden pois kitkemisen helpommin kuin perinteisesti työmaalla rakentaminen. Puukerrostalorakentamisessa edelläkävijänä on mahdollisuus saada hyviä rakennuspaikkoja puukerrostalojen rakentamista varten. (H2). Teollisen esivalmistuksen myötä myös työturvallisuus työmailla voi parantua. Reunalla seisomiset ja siellä hankalat asennukset loppuvat. Lisäksi päästään suoraan sisätiloihin töihin. (H7).

Puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijänä on rakentamisen nopeus. (H3, H4, H5, H6, H7). Teollisen rakentamisen hyödyntäminen johtaa nopeampaan tuotantoon ja tehokkaaseen pääoman käyttöön (H3, H7). Rakennustyömaan aikaisesta rakennusprosessista voidaan saada jopa 70% nopeampi (H7). Vaikka rakennushankkeen kokonaisaika ei juurikaan puukerrostalorakentamisessa lyhene, niin työmaavaihe on kuitenkin lyhempi (H2). Rakennuttajan tai sijoittajan näkökulmasta puurakentaminen mahdollistaa pääoman nopeamman kierron, kun pääoma sitoutuu lyhyemmäksi aikaa. Tehokas pääoman käyttö ja nopea rakentaminen ovat mahdollisia, kun prosessit sekä teollisessa esivalmistuksessa, että työmaalla ovat oikeasti hyvin hallinnassa. Rakentamisen nopeus tulee käytännössä teollisesta esivalmistuksesta. Rakentamisen nopeus on yritysten kannalta hyvä asia, sillä samalla resurssipohjalla yritys voi lisätä tuotantoa ja tehdä enemmän. Puurakentamisessa mielenkiintoista on se, että prosessien kehitys on valtaisa. Teollisella esivalmistuksella on mahdollista saada puurakentamisessa aikaan tuottavuuskehitystä verrattuna perinteiseen rakentamiseen. (H7). Osa puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijöistä ovat kuitenkin toistaiseksi teoreettisia, sillä kaikkia hyötyjä ei ole pystytty todentamaan vielä käytännössä (H3).

Jos lattiavaluja ei tehdä, niin puurakentamisessa ei tarvita samanlaisia kuivumisaikoja kuin betonirakentamisessa. Plaanot eivät tahdista runkorakentamista, kuten betonielementtien saumavalut. Kuivumisen odottamisen sijaan päästään suoraan jatkamaan töitä. Puu on nopeasti kuivuva materiaali. Tämän takia puu on pinnoituskelpoinen erittäin nopeasti. Kun puurakentamisessa saadaan joko sääsuoja tai vesikatto päälle, saadaan olosuhteet hallintaan ja päästään nopeasti sisävalmistusvaiheen töihin. Kun rakennuksen päällä on katto, on sisällä käytännössä kuivat olosuhteet koko ajan. (H4).

Puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijöinä on rakentamisen nopeuden lisäksi puumateriaalin lujuus ja keveys (H4, H7). Puun ja erityisesti massiivipuun ominaisuudet riittävät hyvin korkeaan rakentamiseen. Lisäksi puusta voidaan rakentaa sellaisiin paikkoihin, joihin ei muilla materiaaleilla pystyittäisi rakentaman. Puurakentamisessa toleranssit ovat paljon pienempiä kuin esimerkiksi betonissa. (H4). Teknisellä puolella puukerrostalorakentamisessa kilpailukykytekijänä on mittatarkkuus (H1, H7). Mittatarkkuuden ansiosta esimerkiksi rakenteista saadaan ilmatiiviimpiä (H7).

Lisäksi puun keveys rakennusmateriaalina vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi kuljetukseen, muihin logistiikkaan liittyviin asioihin ja tuotannon kannalta nostoihin (H1, H7). Puu on kevyttä, joten puuta pystytään kuljettamaan pitempiäkin matkoja. Puutuotteiden valmistus voidaan viedä kasvukeskusten ulkopuolelle. Tuotteet voidaan teollisesti valmistaa jopa 90% valmiiksi ja siirtää sitten ulkopuolelta takaisin kaupunkeihin. Teollinen esivalmistus mahdollistaa paremman laadun ja laadun kontrolloinnin. (H7).

Muut rakennusmateriaalit eivät mahdollista samankaltaista tilaelementtirakentamista kuin puu. (H4). Tilaelementit voidaan tehdä jopa täysin valmiiksi. Täysin valmiissa tilaelementissä on esivalmistettu joko yksi kokonainen asunto tai ison asunnon puolikas. Työmaalla tehtäväksi jää vain nostaminen ja liittäminen rakenteisiin ja tekniikkaan. (H1).

Puurakentamisen tehokkuus voidaan löytää työmaalta ja tehtaasta. Puurakentamisen kilpailukyvyn mahdollistava tekijä on projektinhallinnan tehokas haltuun ottaminen, suunnittelussa, pitkälle viedyssä esivalmistuksessa ja työmaalla. Puukerrostalorakentamisen kilpailukyvyn kannalta on tärkeää koko ketjun kokonaisvaltainen hallitseminen. Puukerrostalorakentaminen mahdollistaa edut eri vaiheissa ja kustannustehokkuus syntyy eri vaiheiden tehokkuuden summana. Kokonaistehokkuuden kannalta on olennaista osamoinnin välttäminen. (H6). Puurakentamisen myötä kerrostalorakentamisen ja muun rakentamisen prosessit tulevat muuttumaan (H7).

Rakentamisen äänet ovat puurakentamisessa hiljaiset ja häiritsevät vähemmän ympäristöä. (H4, H6, H7). Puurakentamisen hiljaisuus on etuna esimerkiksi kaupunkiympäristössä (H4). Rakentamisen haittatekijät olemassa olevalle ympäristölle vähenevät (H7).

Puurakentamisessa paloturvallisuus on merkittävästi eri tasolla kuin muissa rakennuksissa. Puukerrostalorakennuksissa edellytetään automaattista sprinklerijärjestelmää,

jonka ansiosta henkilöturvallisuus paranee merkittävästi. Myös rakennusaikainen paloturvallisuus puurakentamisessa paranee, sillä tulitöitä tarvitsee tehdä vähemmän. Lisäksi puurakentamisessa ei tarvitse kuivauksia tai lämmityksiä. (H7).

Laatu on yksi kilpailukykytekijä ja asia, jota on koettu ja varmistettu toteutetuissa hankkeissa. Laatua ovat monet asiat, kuten esimerkiksi miljöön laatu, suunnittelun laatu ja toteutuksen laatu. Ympäristökysymykset ovat merkittävä kilpailukykytekijä, kunhan niille annetaan painoarvoa. (H3).

Puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijänä on puurakentamisen ekologisuus. (H1, H2, H4). Ympäristörasitus jää puukerrostalorakentamisessa pienemmäksi, verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Puurakentamisen avulla on periaatteessa mahdollisuus vastata ajankohtaisiin aiheisiin, kuten esimerkiksi ekologisuuteen ja energiatehokkuuteen. Puurakentamisessa on suunniteltava kokonaisuutta ja vietävä suunnittelu pitkälle jo alkuvaiheissa hanketta. Tällöin esimerkiksi energiatehokkuusasiat tulee mietittyä isossa kuvassa ja kokonaisuuden kannalta tarkemmin. (H1). Asuinpuukerrostalorakentamisella pystytään myös vastaamaan paremmin ilmastotavoitteisiin ja ottamaan ilmastoasiat huomioon. Taloja pitää pystyä tekemään energiatehokkaammin. Puurakentamisen paikallisuus ei suoraan vaikuta päivittäiseen päätöksentekoon puukerrostalorakentamista koskien, mutta on myös hyvä asia. (H2).

Puu on lämmin, ekologinen ja kodikas materiaali. Puu rakennusmateriaalina koetaan ekologiseksi vaihtoehdoksi betonille. Lisäksi puun vähähiilisyys rakennusmateriaalina tunnustetaan puun hyväksi puoleksi. Eri materiaaleilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Puukerrostalorakentamisen taustalla on myös se, että puun uusiokäyttö on mahdollista puukerrostalon elinkaaren loppuvaiheessa. (H6). Puun jatkokäyttö ja kierrätys ovat tärkeitä asioita ja puun osalta kiertotalous ja kierrätys ovatkin mahdollisia. Puu on edullinen materiaali hiilijalanjälkilaskennassa, sillä puun osalta tuotannon pienemmät päästöt verrattuna uusiutumattomiin rakennusmateriaaleihin huomioidaan. Tällä hetkellä hiilijalanjälkilaskennassa ajatellaan, että rakennus lahoaa tai puu poltetaan rakennuksen käyttöiän lopussa. Todellisuudessa kuitenkin puulla voi olla vielä monia mahdollisia käyttökohteita silloinkin. Jos puuta käytetään raaka-aineena rakennuksen käyttöiän lopun jälkeen vielä muissa tuotteissa, on hiilidioksidin sitomisaika mahdollisimman pitkä. Puiden kestävästä käyttämisestä tulee lisäksi huomioida se seikka, että kaadettujen puiden tilalle on istutettava uusia taimia. (H4). Puurakentamista voidaan ajatella eräänlaisena ympäristötekona. EU:n direktiivit ja paikallinen lainsäädäntö tulevat tulevaisuudessa ottamaan yhä enemmän kantaa päästöihin. Puurakentamisessa on mahdollisuuksia vastata niihin asioihin. (H7).

Asuinpuukerrostalorakentamisessa on selkeitä hyötyjä kestävästä kehityksen, ympäristöasioiden ja terveysvaikutteiden huomioimisesta. Puun käytöllä rakennuksissa on todettu olevan terveyden kannalta positiivisia vaikutuksia. (H4). Puurakentamista tukevat myös

pehmeät asiat. Näitä ovat esimerkiksi puun visuaalisuus. Lisäksi puussa on erilainen äänimaailma, jota pidetään miellyttävänä. Puupinnat tuntuvat erilaiselta kuin betoniset. Puulla on todettu olevan fysiologisia ja psykologisia positiivisia vaikutuksia. (H7). Puu-Lehdessä (2/2016) käsitellään puupintojen terveysvaikutuksia sisätiloissa, jonka yhteydessä esitellään useita tutkimuksia, joissa on todettu puulla olevan rakennuksen käyttäjille useita psykologisia ja fysiologisia myönteisiä vaikutuksia.

Haastateltavan H4 (2018) mukaan puukerrostaloissa löytyy potentiaalia projektoinnista. Puukerrostalorakentamisessa on lukuisia eri projektointitapoja. Projektointi ja projektin suunnittelu kannattaa miettiä pitkälle. On tärkeää miettiä esimerkiksi, tehdäänkö talo tilaelementeistä vai suurelementeistä. Projektissa tulee miettiä, miten, millä aikataululla ja millä resursseilla projekti järjestetään ja toteutetaan. Lisäksi projektoinnissa mietitään esimerkiksi, toteutetaanko julkisivut paikalla vai esivalmisteisina ja käytetäänkö sääsuojaa, jolloin sisävalmistusvaiheeseen voidaan edetä nopeammin. Voidaan myös pohtia, nostetaanko runko suurelementeistä tehtäessä harjakorkeuteen asti ja aloitetaan vasta sitten sisätyöt vai nostetaanko runkoa samalla, kun sisätöitä jo tehdään. Puukerrostalorakentamisessa on järjestelmien osalta useita eri vaihtoehtoisia tapoja tehdä rakennus. Toisaalta, jotta puurakentamisesta saadaan kannattavaa, tulee miettiä, minkälaisessa kohteessa mikäkin järjestelmä ja rakennustapa sopii parhaiten. (H4).

#### **4.4 Haasteet puukerrostalorakentamisessa**

Tässä luvussa käsitellään haastattelujen pohjalta puukerrostalorakentamisen haasteita. Lisäksi luvussa käsitellään puukerrostalorakentamisen riskejä ja ongelmakohtia yleisesti.

Ensimmäisinä asioina asuinpuukerrostalorakentamisen haasteina nousevat esiin ylipääntään mielipide ja yleisesti muodostetut mielikuvat puusta ja rakentamisesta. Lisäksi mediassa on viime aikoina uutisoitu paljon puurakentamisen haasteita ja ongelmia, jossa virheet tuntuvat korostuvat. Onnistuneista hankkeista on ollut vähemmän asiaa esillä. Puulehti ja Puuinfo kuitenkin ovat tuoneet myös onnistuneiden hankkeiden osalta informaatiota. (H1). Asuinpuukerrostalorakentamisen haasteena ovat yleiset ennakkoluulot puurakentamista kohtaan. Suuret ja kunnianhimoiset puurakennushankkeet ovat suuren yleisön seurannassa. Haasteena tässä on se, että suuret hankkeet, jotka eivät toteudu suunnitelmien ja ajatusten mukaisesti saattavat antaa koko puurakentamisesta heikon kuvan. (H6).

Puukerrostalorakentamisen haasteena Suomessa on rakennuttajien kohteiden vähälukumääräisyys. Tällä hetkellä puukerrostalorakentamisessa haasteena on vielä toiston puute. Suomessa ei ole vielä kehitetty puukerrostalorakentamisen rutiineja ja prosesseja yhtä pitkälle kuin muissa maissa. (H6). Haasteena asuinpuukerrostalorakentamisessa on, että siinä on liian paljon uniikkia rakentamista. Pitäisi pystyä vakioimaan ratkaisuita puukerrostalorakentamisessa niin, että voitaisiin kilpailuttaa suunnittelua ja toteutusta samoin tavoin kuin betonikerrostalorakentamisessa. Jos tällaiseen päästään, syntyisi toistoa ja

harjaantumista, jolloin taloudellinen kilpailukykykin alkaisi parantua. Betonirakentamisesta vaihtaminen puuhun aiheuttaa haasteita. Jos on totuttu rakentamaan betonirakentamiseen soveltuvilla käytännöillä, voi tulla haasteita, kun koitetaan muuttaa kaikki ja tehdä puutaloja. (H3). Betonirakentamisen oppien soveltaminen ei ole optimaalinen tapa tehdä puurakentamista (H6). Asuinpuukerrostalorakentamisen haasteena on edelleen teollinen rakentaminen. Suomessa puurakentamisprojektit ovat edelleen pitkälti projekteja. Yksittäiset ja erilaiset toteutettavat projektit tuovat haasteita tuotannon hallintaan teollisessa esivalmistuksessa. Haasteita aiheutuu myös siitä, kun projektit vaihtuvat yhdestä toiseen, eikä jatkuvuutta ole. Tuotannon tason ylläpitäminen on hankalaa. (H7). Suomalaisessa puukerrostalorakentamisessa tarvitaan kehittymisen ja oppimisen takia positiivisia ja negatiivisia kokemuksia. Suomalaisen puukerrostalorakentamisen kehittymisen kannalta olisi tärkeää saada yrityksissä perustuotanto ja perusratkaisut hallintaan. Toistaiseksi haasteena on ollut puukerrostaloprojektien ja –puukerrostalorakentamisen prosessien hallitsemattomuus. (H6).

Kumulatiivinen oppiminen on tärkeää, mutta suomalaisessa puurakentamisessa sitä ei ole vielä saavutettu. Usein on käynyt niin, että rakennusliikkeissä edellisen kohteen pohjalta saatua kokemusta ja tietoa ei ole pystytty juuri hyödyntämään. Pitäisi olla puurakentamiseen erikoistuneita yrityksiä, jotka osaavat puurakentamisen prosessin ja kehittää prosessia ja menetelmiä kohteesta toiseen. Haasteena on myös tällä hetkellä se, että kun esivalmistusaste nousee, työmaaprosessit muuttuvat täysin. Pääasiassa rakennusliikkeet eivät ole vielä muuttaneet prosessejaan puurakentamiseen sopivaksi. Puurakentamisen tehokkuutta ei vielä ole täysmittaisesti saatu hyödynnettyä. (H7).

Puukerrostalorakentamisen haasteena on toimijoiden vähyys. (H2, H4). Haasteena yleisesti asuinpuukerrostalorakentamisessa on myös se, että kilpailu on vähäistä (H2). Lisäksi haasteena puukerrostalorakentamiseen soveltuvien tuotteiden ja järjestelmien osittain heikko saatavuus. Ongelmana on, että voi olla hankala saada nopeasti suurta määrää tuotteita. Puukerrostalorakentamista palvelevien tehtaiden kapasiteetit voivat olla varsin pieniä ja vaikuttaa toimituksiin. Haasteena on lisäksi se, että elementit saadaan oikea-aikaisesti työmaalle. (H4).

Suuri haaste puukerrostalorakentamisessa on se, että puurakentamiseen liittyvä ekosysteemi on vielä niin kehittymätön. Haasteena on myös, että puukerrostalorakentamisen ympärillä olevat toimijat eivät välttämättä täysin osaa hinnoitella töitä ja palveluitaan. Terve runsas kilpailu puuttuu puukerrostalorakentamisessa. Tarvittaisiin lisäksi enemmän innovatiivisia tekijöitä. (H4).

Asuinpuukerrostalorakentamiseen haasteita tuo se, että puukerrostalorakentamiseen erikoistuneita suunnittelijoita on vähemmän. Puukerrostalojen hitaasti rakentumisen taustalla on myös esimerkiksi se, että puukerrostaloja rakennuttavia rakennuttajia ei ole tarpeeksi. Myöskään rakennusliikkeet, jotka valtaosan tuotannosta rakentavat, eivät ole läheneet puukerrostalorakentamiseen. Eräänä syynä tähän voi olla, että rakentaminen on

perinteikästä toimintaa. Lisäksi tällä hetkellä betonirakentaminen on kustannustehokainta. Yhtenä syynä hitaaseen puukerrostalorakentamisen lisääntymiseen nähdään, että useilla rakennusliikkeillä ei ole omia tehtaita omistuksessa, jolloin tilaelementtituotanto pitää ostaa rakennusliikkeen näkökulmasta ulkoa. Toistaiseksi rakennusliikkeet eivät myöskään ole juuri lähteneet mukaan suurelementtitekniikkaankaan. (H2).

Puukerrostalorakentamisesta puuttuvat yhteiset toimintajärjestelmät (H4). Osaamisvaje on yksi iso riski puukerrostalorakentamisessa. Alalla ei ole vielä paljoa pitkän kokemuksen omaavia toimijoita. (H1, H4). Osaamis- ja koulutuspuutteet koskevat hankkeen eri osapuolia ja niitä on havaittavissa kautta linjan. (H1). Puukerrostalorakentamisen haasteena on se, että suunnittelussa on niukkuutta (H4, H7). Erittäin vahvan kokemuksen omaavia puurakenteiden suunnittelijoita ei ole paljoa. Kohteista ei ole pitkää kokemusta vielä, jonka seurauksena tehdään liian varmalle puolelle perustuvia suunnitteluotaksumia. (H4). Liian varovaiset suunnitteluotaksumat nostavat hintatasoa, esimerkiksi ylimitoituksen takia (H4, H7). Lisäksi puurakenteiden suunnittelun hallinta ajallisesti ja tuloksellisesti on ollut myös haasteena. Rakennesuunnittelu puukohteessa vie toistaiseksi enemmän aikaa kuin betonirakentamisen kohteissa. Puurakenteiden suurempi määrä suunnittelutyötä on myös kustannustekijä, joka pitää saada kurottua kiinni muualla. Puussa suunnittelutyö on vietävä pitkälle, sillä esivalmistus tehdään tehtaassa loppuun asti juuri suunnitelmien mukaisesti. Ongelmana on se, että vielä puurakentamisen ja sen prosessien ympärille ei ole muodostunut selkeitä toimintatapoja, joita olisi totuttu käyttämään. (H7).

Asuinpuukerrostalorakentamisessa on kehitettävää työtä vielä jäljellä. Selkeätä toimintamallia ei ole vielä puurakentamisessa kehittynyt, mikä osaltaan estää kilpailukyvyn muodostumista, joka vastaisi betonirakentamisen kilpailukykyä. Puurakentaminen Suomessa etsii vielä toimintatapojansa. Puurakentamisessa tällä hetkellä on hiukan sama tilanne kuin betonirakentamisessa 70-luvulla, eli ratkaisut ovat todella moninaiset, eikä niiden käyttö ole vakiintunutta. Puuelementtiteollisuudesta puuttuvat vielä vuosisopimukset, joita betonielementtiteollisuudessa on pitkälti käytössä. (H5). Puurakenteiden ja rakenneratkaisujen yhteensopivuus on haaste. Nykyisellään käytössä on todellisuudessa yritys-kohtaiset ratkaisut eikä niin sanottua avointa järjestelmää, joka tukisi eri osien liittämistä yhteen. (H7). Esimerkiksi RunkoPES ei ole tehokkaassa käytössä (H5, H7).

On mahdollista, että puurakentamisen osalta esivalmistetussa tuotannossa ei välttämättä päästä yhtä pitkälle standardituotteisiin kuin vaikkapa ontelolaattatuotannossa. Toisaalta standardituotantoon ei välttämättä ei ole tarvekaan päästä. Perinteisten rakennusliikkeiden näkökulmasta haluttaisiin pystyä kilpailuttaman eri toimittajia siten, että tuote olisi sama. Puurakentamisen yhteydessä rakennusprosessi, esivalmistus ja rakennusliikkeen rooli muuttuvat olennaisesti. Puurakentamisen kokonaisien ketjujen hallinta on suuri muutos rakennusprosessiin. Puurakentamisen myötä ja prosessien muutoksen myötä on syntynyt enenevissä määrin yrityksiä, jotka tekevät hankkeet KVR-urakkana. Uudemmat toimijat tekevät omassa tuotannossa elementtien ja tilaelementtien valmistuksen ja hoitavat kokoonpanon. (H7). Tällä hetkellä puurakentamisen elementtitehtaita on useita, mutta



rakennusliikkeitä ei ole juurikaan. Toisaalta puurakentamisessa eräät suuremmat toimijat ottaneet käyttöön ennenkin käytössä ollutta tapaa, jossa rakennusliike omistaa myös elementtitehtaan. Näin rakennusliike voi hallita koko ketjun, kun se omistaa kaikki osat ketjusta. Lisäksi useat pienemmät toimijat rakentavat ja tekevät itse elementit. Pääosa suurta tuotantoa ja kerrostaloja rakentavista toimijoista ei kuitenkaan toimi näin. (H5).

Toistaiseksi työmaan ja rakentamisen kannalta on ollut haasteita siinä, että elementtejä on joskus toimitettu työmaalle keskeneräisenä. On todella kallista, jos keskeneräisiä elementtejä siirretään työmaalle ja korjaukset sekä työn loppuun saattaminen tehdään vasta työmaalla. Virheet ja keskeneräiset asiat maksavat paljon enemmän, jos niitä ei ole pohdittu suunnittelun yhteydessä, huomattu ja tehty tehtaalla toimiviksi. (H7).

Puukerrostalorakentamisen prosessit ovat tällä hetkellä haastavia, koska nyt jokainen toimija toimii eri tavalla. Tilaajat eivät ole tottuneet toimimaan tämän hetkisten puukerrostalorakentamisen prosessien kanssa. Haasteena ja kehityskohtana on se, että tilaajien pitäisi luottaa yhteistyökumppaneihin enemmän, kun hankkeita lähdetään vetämään eteenpäin. Yhteispeli ja yhdessä asioiden tekeminen korostuvat ja ovat tärkeitä asioita. Toimijoiden, rakennejärjestelmien ja muiden valinnassa tärkeää löytää oikeat yhteistyökumppanit ja yhteiset asiat, jolla lähteä viemään hanketta eteenpäin. Hankkeiden yhdessä kehittämisenä on todella potentiaalia saada laadukas ja tavoitteita vastaava lopputulos. (H5).

Puurakentamisen yhteydessä puhutaan paljon teollisesta rakentamisesta. Teollisen rakentamisen luonnetta ei ole täysin ymmärretty. Teollinen rakentaminen ei ole sitä, että hallissa tehdään samalla tavalla kuin työmaalla. Säästöjä ei saada aikaan, jos tehtaalla tehdään täysin samalla menetelmällä kuin työmaallakin. Myöskään pelkästään koneiden käytöllä ei saada edullisesti tehtyä. Koneista aiheutuu investointikustannuksia ja yleiskulurastusta sitä kautta. Lisäksi voidaan tehdä vain sellaisia taloja, kun koneet pystyvät tekemään. Tehtaiden haasteena on se, että tehtaassa tekemisestä, aiheutuu paljon ylimääräisiä kustannuksia. Logistiikka aiheuttaa kustannuksia, kun materiaalit kuljetetaan tehtaalle ja sieltä työmaalle. Nostot aiheuttavat kustannuksia, koska rakenteet pitää ylimoitoittaa ja tehdä tuplarakenteita. Kaikki ne ylimääräiset kustannukset, mitkä tehtaasta aiheutuvat, pitäisi säästää, kun mennään takaisin päin työmaalle. Työmenetelmät pitää olla sellaiset, että työn tuottavuus on hyvä tehtaassa. Taloudellisessa mielessä voidaan ajatella sitä, että mitä pidemmälle esivalmistettu ratkaisu on, niin sitä kilpailukykyisempi se on. Toteutuneissa kohteissa näin ei kuitenkaan ole ollut. (H3).

Riskeinä asuinpuukerrostalorakentamisessa ovat tekniset riskit. Äänitekniikka nähdään kovimpana haasteena puukerrostalorakentamisessa. Haasteen taustalla on se, että ei ole olemassa juuri testattuja rakenteita. Lisäksi ei ole sellaisia vastaavia tyyppihyväksytyjä tuotteita, kuten betonirakentamisessa, jotka jo taulukkoarvoina täyttävät määräykset. Tällaisia vastaavanlaisia taulukkoarvoja ei löydy esimerkiksi puuvälikohjista tai puuseinistä. (H2). Teknisten varmennusten puuttuminen aiheuttaa riskin, että rakentamisen jälkeen

pitää vielä korjailla virheitä. Riskinä on esimerkiksi, että määräysvaatimukset eivät täytyneetkään todellisuudessa, vaikka laskennallisesti niiden piti täytyä. (H5). Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän organisaatiossa etuna on se, että varmennukset teknisille ratkaisuille ovat olemassa ja niitä on testattu toteutetuissa kohteissa. Varmennukset ja testatut toimintatavat tukevat puukerrostalorakentamista ja tekevät suunnittelustakin sujuvampaa. (H5).

Puurakentamisen teknisistä haasteista suurin osa on vielä tuntemattomia rakentamisen suurelle massalle, mikä on osittain syynä siihen, että puukerrostalorakentaminen ei ole noussut. Osalla toimijoista tekniset ratkaisut ovat hieman keskeneräisiä, mikä tuottaa hankaluuksia myös muulle rakennushankkeen prosessin läpiviemiselle. Koko rakentamisen ketjun läpi puuttuu useilta toimijoilta konkretia puukerrostalorakentamisen ääni- ja paloasioista. (H5).

Asuinpuukerrostalorakentamiseen liittyy teknisiä riskejä äänitekniiikan ja palotekniikan sekä liitosten osalta. Lisäksi riskeinä ovat rakennusfysikaaliset asiat sekä painumiset ja muut kosteusliikkeet. Työmaatekniikassa kosteudenhallinnan tärkeys ja toteutussuunnittelu sekä suojaukset korostuvat. Edellä mainituista on pidettävä huolta ja muutenkin tuotanto on syytä olla suunniteltu huolella. Suunnitelmissa tai työmaalla tapahtuvat muutokset ovat riski. Muutos työmaalla ei saisi katkaista koko rakentamista. Toteutukseen liittyviin riskeihin lukeutuu myös toimittajien vähyys. Puukerrostalorakentamiseen liittyy myös taloudellisia riskejä. Puurakentamisessa tulee esille hintariskit, kun ei ole ennen tehty vastaavanlaisia kohteita ja ei ole kattavaa kustannustietoa. (H1).

Tällä hetkellä iso haaste on saada puukerrostalorakennushankkeet käyntiin. Puukerrostalorakennushankkeita on enemmän jäänyt toteutumatta, kun mitä niitä on toteutunut. Puurakentamisen kustannustietoisuus on hyvin puutteellista. Myöskään perinteinen kilpailutusmalli ei toimi puukerrostalorakentamisessa. Puukerrostalorakentamisessa toimintamalli menee enemmänkin neuvotteluiden suuntaan. (H5). Riskit liittyvät pitkälti tilaajaan ja erityisesti siihen, miten pystytään ja onnistutaan tilaamaan asuinpuukerrostalokohde. Perinteiseen tapaan tilaaja on suunnitteluttanut kohteen arkkitehdeillä ja rakennesuunnittelijoilla ja pyytänyt tarjoukset niiden perusteella, muttei ole saanut puukerrostaloista joko lainkaan tarjouksia tai on tullut todella kalliita tarjouksia. Jos hyviä tarjouksia ei saada niin koko suunnittelutyö menee hukkaan. Puukerrostalokohteen kilpailuttaminen pitäisi tehdä käytännössä KVR-urakkana. Jolloin KVR-urakoitsija antaa suunnitelmat. Kuitenkaan ratkaisutarjoajilla ei ole välttämättä valmiutta tällaiseen prosessiin, KVR-hankkeen vetämiseen ja vastuisiin kokonaisuudesta. Nykyään toimittajat tarjoavat elementtejä tai osakokonaisuuksia. (H3).

Puukerrostalorakentamisessa riskit voivat realisoitua kustannusten ja rakenneteknisten riskien osalta (H6). Asuinpuukerrostalorakentamisessa on haasteena kustannustietoisuus, joka ei ole vielä kattavaa. (H1, H6). Haasteena asuinpuukerrostalorakentamisessa ovat

myös taloudelliset riskit. Tällä hetkellä puukerrostalorakentaminen on kustannusten hallinnan ja suunnittelun tehokkuuden näkökulmasta haastavaa. Kustannusten hallinta ja suunnittelijoiden ohjaus ovat tärkeitä asioita. (H2).

Hinnoittelussa ei välttämättä osata ottaa huomioon niitä asioita, jotka puurakentamisessa tapahtuvat nopeammin. Käytännön esimerkiksi taloteknisten urakoitsijoiden kiinnikkeiden asentaminen on nopeampaa ja rakennussiivoojalla menee karkeasti vain puolet ajasta siivoamiseen, kun tehdään puukerrostaloja. Näitä ja monia muita asioita ei osata laskea ja hinnoitella kunnolla, mitkä vaikuttavat hankkeen kokonaiskustannuksiin. (H4).

Kiinteistösijoittajien näkökulmasta haasteena ovat puuttuvat kokemukset siitä, mitkä ovat käyttö- ja ylläpitokustannukset puukerrostaloissa. Alkuinvestointi on usein tiedossa, mutta pitkän aikavälin kustannuksista ei ole Suomessa puukerrostaloista paljoa tietoa. On tärkeä aspekti kiinteistösijoittajien näkökulmasta, pysyvätkö asukkaat talossa vai eivät. On merkityksellistä aistivatko asukkaat talon kodikkaammaksi, lämpimämmän tuntuiseksi ja viihtyisämmäksi ja pysyvät asunnossansa kauemman aikaa. Samassa yhteydessä on syytä miettiä, mitkä ovat ne puukerrostalon lisäarvot ja vastaavatko ne niihin korkeampiin kustannuksiin asujan näkökulmasta. Asukkaiden maksuvalmius ja maksuhalukkuus puukerrostalosta on lisäksi mielenkiintoinen asia. (H6).

Puukerrostaloja koskee täysin samat palomääräykset kuin betonitalojakin. Puukerrostalorakentamisessa haasteena on se, että puusta rakennettaessa syntyy lisäkustannuksia, jotta viranomaisnormit saadaan täytettyä. Esimerkiksi palomääräyksistä tuleva vaatimus sprinklerijärjestelmälle aiheuttaa lisäkustannuksia. Pakollinen sprinklerijärjestelmä on selkeä kustannustekijä huoneistotasolla. Haasteena on lisäksi A-luokan vesilähteiden käyttäminen ja vesilähteiden varmentaminen. Puukerrostalorakentamisessa on tiettyjä kustannustekijöitä, mitä betonissa ole. (H6).

Näkyvän rakenteellisen puun esiin saaminen on yksi haaste puurakentamisessa. Palotarkastelun kannalta rakenteellisen puun näkyväksi saaminen alkaa olla toteutettavissa, mutta esimerkiksi äänitekniikkaa on hankala saada toimimaan siten, että puupinta on näkyvissä. Äänitekniikkaa voidaan saada hallintaan esimerkiksi tekemällä tupla-massiivi-puurakenne väliseinään tai studiorakenteita molemmille puolille tai reilusti yhdelle puolelle. Ongelmana on seinien jatkuminen yhtenä, minkä takia äänet kulkeutuvat ala- ja ylänaapureihin helposti. Äänitekniikan kannalta ylä- ja alapuolisten elementtien välissä voidaan käyttää vaimennuskumeja. Vaimennuskumit toimivat noin kahdeksaan kerrokseen asti. Tätä korkeammissa rakennuksissa vaimennuskumien käyttäminen menee haasteelliseksi, sillä kuormat kasvavat niin suuriksi. Tällöin vaimennuskumit saattavat mennä lyttyyn ja painumat voivat aiheuttaa muodonmuutoksia. (H4).

Puukerrostalorakentamisessa on paloasioiden kannalta haasteena, että paloasiat ovat paikkakuntakohtaisia tulkintoja, eivätkä ne ole kovinkaan yksiselitteisiä asioita. Toisaalta vuoden alusta uudistuneet palomääräykset ovat nyt sallivampia puurakentamisen suhteen

ja ne tulevat yhtenäistämään tulkintojakin. Toiminnallisilla tarkasteluilla ja neuvotteluilla pystytään rakentaman suuriakin kohteita. Erityisesti korkeassa rakentamisessa nämä asiat nousevat esille. (H4).

Lisäksi varsinkin korkeassa puurakentamisessa perustuksista saattaa tulla jopa kalliimmat kuin betonirakentamisessa. Tämä johtuu siitä, että puurakenteet ovat niin kevyitä, että perustusten ja paalutusten tekeminen voi olla hankalaa. Paalut saattavat esimerkiksi joutua vedolle. (H4).

Kuivaketju10 pyrkii estämään kosteusvaurioiden syntymisen rakentamisen eri vaiheissa. Toisaalta Kuivaketju10 toimintatavat ovat haasteellisia puukerrostalorakentamisen kilpailukyvyn kannalta. Sääsuojauksen ja kosteudenhallintasuunnitelman merkitys nousevat esiin tässä asiassa. Kipsilevystä, mineraalivillasta ja rangasta tehdyt elementit vaativat toimivan sääsuojan, mutta esimerkiksi kuusipuiset elementit kestävät hyvin kosteusrasitusta. Massiivipuisten elementtien osalta Kuivaketju10 edellyttämä sääsuoja on kustannuksia lisäävä tekijä, sillä massiivipuisia elementtejä voitaisiin asentaa kohteen kosteudenhallintasuunnitelmaa noudattaen. Haasteena on se, että sääsuojien käyttäminen vaikuttaa työtapoihin ja nostoihin ja ne maksavat. Lisäksi sääsuojan käyttäminen esimerkiksi keskustakohteissa vie ahtaalta tontilta paljon tilaa. Ulkomailla tehdään valtaosa massiivipuista kohteista ilman sääsuojaa. (H4).

## 4.5 Puukerrostalorakentamisen tulevaisuus

Luvussa käsitellään haastattelujen pohjalta näkemystä suomalaisen puukerrostalorakentamisen tulevaisuudesta. Lisäksi pohditaan, mihin suuntaan puurakentaminen on Suomessa menossa tulevaisuudessa.

Haastateltavan H1 (2018) mukaan asuinpuukerrostalorakentamisella nähdään olevan jalansija tulevaisuudessa. Kysymysmerkkinä on kuitenkin, minkäkokoinen markkina puukerrostalorakentaminen on verrattuna betonikerrostalorakentamiseen. Näkemys tulevaisuudesta on se, että kun puukerrostalorakentamiseen liittyviä haasteita saadaan voitettua, tekniikka kehittyy ja toimijat lisääntyvät, myös puukerrostalorakentaminen lisääntyy näiden seurauksena. Viimeisen kahden vuoden aikana puukerrostaloasuntojen määrä on jo merkittävästi lisääntynyt. (H1). Haastateltavan H2 (2018) mukaan puukerrostalorakentamisen lisääntymiseen uskotaan. Kiinnostuksen puukerrostalorakentamista kohtaan uskotaan lisääntyvän. Ilmastoasiat ohjaavat puukerrostalotuotantoon enemmän. Asuinpuukerrostalorakentamisen kehitys nähdään positiivisena tulevaisuudessa. (H2).

Puukerrostalorakentaminenkin on pääsemässä perustajaurakointimarkkinalle. Toimijoiden tulo puukerrostalomarkkinoille tilaelementtituotannolla on selvä merkki siitä, että he lähtevät mukaan niillä perustajaurakointimarkkinalle. Kokonaisvaltainen tapa toimita, jossa kaikki tehdään samassa yrityksessä ja toiminta on kustannustehokasta, tulee jäädäkseen. (H5).

Haastateltavan H3 (2018) mukaan toivotaan, että puukerrostalorakentaminen saataisiin sopivalla tavalla tasaisesti kasvavalle kasvukäyrälle. Alan toimijoiden ja ratkaisukehittäjien kannalta olisi optimaalinen tilanne saada puurakentaminen sopivan tasaiseen kasvuun. Kysyntä ja kysynnän kasvu johtavat siihen, että kannattaa kehittää uusia ratkaisuita. Kysynnän ailahtelu aiheuttaa riskejä kehittämiselle. (H3).

Haastateltava H3 (2018) uskoo siihen, että puukerrostalorakentaminen tulee kasvamaan. Hiljaisia signaaleitakin on näkyvissä. Uudenlaiset ryhmät ovat olleet kiinnostuneita puukerrostalorakentamiseen liittyvistä asioista ja toiminnasta. Puukerrostalojen osalta on imagomielessäkin hyvä, että korkean valtiovallan taholta on asiaa viety eteenpäin. Työ- ja elinkeinoministeriö on asettanut puukerrostalojen osalta tavoitteeksi 10% markkinaosuudesta. Lisäksi haastateltavan H3 (2018) mukaan tavoitteena on ollut monta vuotta saada aikaan lisää puurakennusteollisuutta ja sellaisia tehtaita, jotka perusmetsästä jalostavat rakentamisen osia. Puurakennusteollisuuden kehitys näyttää olevan käynnissä. (H3).

Asuinpuukerrostalorakentamisen nähdään kasvavan erittäin paljon. Asuinpuukerrostalorakentamista ajetaan myös politiikassa eteenpäin. Ekologisuus toimii yhtenä ajurina asuinpuukerrostalorakentamiselle. Lisäksi tulevaisuudessa osaamisen sekä tuotannon määrän kasvaessa myös kustannukset tulevat tasoittumaan. Kehittynyt puukerrostalorakentamisen ekosysteemi vie kustannuksia alaspäin tulevaisuudessa. (H4).

Puurakentamisessa tulee miettiä, miten ratkaisut kestävät ajan saatossa ja toisaalta on myös mietittävä, minkälaiset ovat purkumahdollisuudet ja kierrätysmahdollisuudet. Esimerkiksi käytettyjen puuelementtien kauppaa ennustetaan tulevan. Puurakentaminen antaa mahdollisuuksia kierrätettävyytensä ansiosta tulevaisuuden resurssiniukempaan aikaan. Tulevaisuuden kannalta olisi tärkeä miettiä, miten puuta käytetään muutaman vuosikymmenen päästä rakennuksen elinkaaren loppuvaiheilla. Puuta tulisi käyttää siten, että hiilidioksidin sitomisaika olisi mahdollisimman pitkä. (H4).

Puurakentamisen kasvu pohjautuu tällä hetkellä useille järjestelmille. Niistä todennäköisesti valikoituu jotkut vaihtoehdot jatkoon (H5). Haastateltavan H5 (2018) mukaan uskotaan erityisesti tilaelementtien ja suurelementtien hankekantaan ja jalansijaan. Esimerkiksi Ruotsissa ja Norjassa tilaelementeistä tehdään paljon 4–5-kerroksista tuotantoa. Suomessa pitäisi päästä kerrostalotuotannossa kahdeksaan kerrokseen asti ja esimerkiksi CLT-tilaelementit mahdollistavat sen. (H5). Asuinpuukerrostalorakentamisen nähdään menevän kohti kokonaisvaltaisempia projekteja ja tehdasvalmistusta. Erityisesti tilaelementtirakentamisen uskotaan valtaavan alaa. Esimerkiksi Euroopassa ja Ruotsissa menee konevalmistajilla kaupaksi enemmän tilaelementtien valmistukseen soveltuvia tuotantolinjoja, mikä on yksi indikaattori siitä, mihin suuntaan ala on menossa. Tehtaassa tehtävä esivalmistustyö on myös kannattavampaa kuin työmaalla tehtävä työ. (H6). Asuinpuukerrostalorakentaminen kasvaa ja se kasvaa erityisesti uusien yritysten toimesta. Perintei-

set pitäytyy tuotteessa tai tuoteosavalmistuksessa. Uudet yritykset kehittävät kokonaisvaltaisesti eteenpäin esivalmistusta, kokoonpanoa ja työmaaprosessia. Uusilla yrityksillä on ollut merkittävää liikevaihdon kasvua. Erityisesti pienemmissä uusissa toimijoissa näkyy puurakentamisen kasvu. Rakennusprosessi kehittyy puurakentamisessa. (H7).

Haastateltavat kommentoivat olevansa puurakentamisessa mukana jatkossakin. Haastateluissa kysyttiin, aikovatko haastateltavat olla mukana puukerrostalorakentamisessa tulevaisuudessakin. Mukana olemisesta kommentoitiin seuraavasti:

- Aiomme (H1).
- Juu (H2).
- Aiomme olla mukana puurakentamisessa sekä kerätä ja kehittää osaamista (H4).
- Puukerrostalorakentaminen on toiminnan keskiössä. Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän organisaationsa tavoitteena on toimia mahdollisimman hyvänä kumppanina puukerrostalohankkeissa. Organisaatio ei aio olla ”bulkkielementti-toimittaja”, vaan palveleva toimittaja. Hyvä tuote ja asiakaspalvelu ovat ne tekijät, joihin toiminnassa panostetaan. (H5).

## **4.6 Rakennusalan muutostarpeet puurakentamisen edistämiseksi**

Tärkeätä olisi, että epätietoisuutta puukerrostaloista saataisiin hälvennettyä. Tämä onnistuu esimerkiksi siten, että kerrotaan ostajille, miten puukerrostalot rakennetaan ja miten ne toimivat. Epätietoisuuden hälventämisen ja informaation jakamisen kautta puukerrostalon ostamisen esteet purkautuvat. Suomalaisen puukerrostalorakentamisen kehityksen sekä puurakenteisen uudistuotannon tavoitteiden saavuttamiseen on tarpeen se, että puurakentaminen on oikeasti kustannustehokasta. (H6). Tärkeää olisi tehdä mielipidevaikuttamista kuluttajien suuntaan, jotta puukerrostalorakentamisesta saataisiin halutumpaa (H4). Ajattelutapaa pitäisi muuttaa ja kehittää. Tulisi panostaa puurakentamisen ja puukerrostalorakentamisen hyvien puolien esiin tuomiseen. Puukerrostalorakentaminen voitaisiin nähdä vaihtoehtoisena ajatuksena betonirakentamiselle. Osapuolten kannattaisi tutkia puukerrostalorakentamisen ominaisuudet ja selvittää niihin liittyvät seikat, ennen kuin tyrmätään uudet ratkaisut. (H1). Rakennusalaa itsessään pitäisi kehittää, jotta ympäristö olisi puurakentamiselle otollisempi. Koko rakennusalan traditio on rakentunut käytännössä betonirakentamiselle. Tätä on hidasta ja haastavaa muuttaa. (H3).

Rakentamisen kulttuurissakin täytyy tapahtua jotain muutosta, jotta puuteollisuuskin pääsee tekemään. Nyt on totuttu tekemään pitkälti vain tuttua ja turvallista betonista. Tuloksesta tällaisesta toimintatavasta on se, että saadaan sellainen tuote, minkälainen sattuu tulemaan. Kun aletaan kiinnittämään enemmän huomiota lopputulemaan ja laatuun niin se auttaa myös kehittymään. Puurakentamista voisi auttaa se, että verrattaisiin enemmän lopputuotteita. Turvallisuus ja viihtyvyys aspektit pitäisi huomioida ja verrata niitä hintaa vasten. (H5).

Pitäisi olla pienempää rakentamista puusta enemmän, kuten esimerkiksi luhtitaloja ja pienkerrostaloja. Prosessin toistuvuus ja peruskohteiden tekeminen voisi johtaa puukerrostalojen kehitykseen tulevaisuudessa. On selvää, että toisto ja harjaantuminen tuovat hintakilpailukykyä. Pitäisi olla jatkuvuutta ja toistuvuutta, jotka tuovat rutiinia ja sitä kautta mahdollistavat hintakilpailun. Ylipäättään tarvitaan tarpeeksi toistoa ja selkeät toimintatavat, jotta päästään hintakilpailumahdollisuuksiin ja tunnetun sekä osatun tuotannon tekemiseen. Erityisesti laskusuhdanteessa tarvitaan toistoa ja kilpailu-urakointia. On hankalaa, että puukerrostalorakentaminen on ollut isojen ja haastavien pilottikohteiden varassa. (H5).

Prosessi on erilainen puurakentamisessa kuin perinteisessä. Rakentamisen prosessia pitää kehittää. Perinteisen rakennusliikkeen rooli pienenee. Nykyiseen arvoketjuun ja arvoverkkoon ei suoraan pysty sijoittamaan puurakentamista. Tällä hetkellä rakennusprosessin ketjussa on niin paljon ketjun osia ja toimijoita, joista jokainen haluaa oman katteensa. Se johtaa siihen, että lopputuloksesta tulee liian kallis. Tulee tarkkaan kehittää ja miettiä, minkälainen rakentamisen prosessin ja verkoston pitää olla, jotta se menee jouhevasti ja kustannukset pysyvät kurissa. Työmaaprosessissa tarvitaan erilaista käyttäytymistä ja tekemisessä vaaditaan eri tarkkuutta. Tarvitaan useita toistoja, jotta päästään kumulatiiviseen oppimiseen. (H7). Olisi tärkeää tunnistaa potentiaali hankkeissa ja siirtää seuraaviin hankkeisiin löydetty potentiaali. Lisäksi kustannusasiantuntijoille pitäisi saada tietoa hankkeiden kustannuksista, jotta puukerrostalorakentamisen hinnoittelu saataisiin järkeväksi. Lisäksi digitalisaatioon satsaaminen ja vastaaminen olisi tärkeää puukerrostalorakentamisen kilpailukyvyn kannalta. (H4).

Suunnittelun kunnioitus ja arvostaminen olisi tärkeää kilpailukyvyn parantamisessa. Puurakentamisessa pitäisi päästä eroon asenteesta, että rakentaminen ja suunnittelu aloitetaan samoihin aikoihin. Puukerrostalorakentaminen perustuu pitkälti esivalmistukseen rakentamisessa. Kaikki pitäisi olla suunniteltuna tarpeeksi pitkälle, että voitaisiin alkaa tekemään esivalmistettavia ratkaisuja. Suunnitelmien miettiminen on tärkeää, jotta mitat, asiat ja osat saadaan tehtäällä oikein ja oikeaan paikkaan. Suunnittelussa suuri ongelma on pitkälti ollut se, että suunnittelijoiden koulutus lähtee siitä, että suunnittelijat osaavat suunnitella valmiin rakennuksen. Arkkitehdit taas osaavat piirtää hienoja pohjia ja toiminnallisia tiloja. Suunnittelijakoulutuksesta puuttuu se, että miten talo tehdään. Lopputulos voidaan suunnitella, mutta pitää myös suunnitella ja miettiä toteutus. (H3).

Lähtökohtaisesti rakennustuotteet ja rakennejärjestelmä vievät eteenpäin puurakentamista, eivätkä hankekohtainen suunnitteluratkaisun joka kertainen modifiointi. Kunhan rakenteiden ratkaisut ovat kunnossa, niin tällöin suunnittelijoitakin riittää. Ratkaisuiden kunnossa olemisen koskee niin tilaajia, suunnittelijoita, tuotantoa kuin rakentajiakin. Ratkaisujen kehitys samaan aikaan yhdessä olisi tärkeitä. Tällöin voitaisiin saada hyviä ratkaisuita ja kilpailukykyisyyttä aikaan. (H5). Jotta puukerrostalorakentamisesta saataisiin halutumpaa ja kilpailukykyisempää, olisi tärkeää, että ratkaisuita tarjoavat toimijat pystyisivät tarjoamaan teknistaloudellisesti kilpailukykyisiä ratkaisuita tarjolle. (H3).

Lisäksi puurakentamista saataisiin kilpailukykyisemmäksi mittatarkkuutta kunnioittamalla. Betonirakentamisessa sallitaan 15 mm toleranssi. Puurakentamisessa tarvitaan 2mm toleranssi. Mittatarkkuus johtaa edullisempaan rakentamiseen. (H3). Puurakentamisen mittatarkkuus vaatii tarkemmin tehdyt perustukset kuin betonirakentaminen. Puurakentamista on mittatarkkuudestaan johtuen vaikea tehdä huonosti tehtyjen ja mittatarkkuudeltaan heikompien perustusten päälle. Perustusten pitää olla millilleen oikein. Betonisten perustusten ja puurakenteiden kanssa on ollut käytännössä mittatarkkuuksien kohdalla negatiivisia yllätyksiä. (H7).

Olisi hyvä, että julkiset rakennuttajat lähtisivät enemmän vaatimaan, että rakennetaan puukerrostaloja. Juuri julkiselta puolelta asioiden kehittäminen ja eteenpäin vieminen usein lähtee. Esimerkiksi olisi hyvä, että kaupunkien vuokrataloyhtiöt rakennuttaisivat puukerrostaloja. Yleensäkin yleistä rakennusliikkeiden ja toimijoiden kiinnostusta puukerrostalorakentamiseen ja ratkaisuihin vaaditaan, jotta puukerrostalorakentamisesta saataisiin halutumpaa ja kilpailukykyisempää. Lisäksi tarvitaan lisää opetusta. Toteutetuissa kohteissa kuitenkin suunnittelijat ovat olleet aina osaavia. Puukerrostalorakentamisen lisääntyessä täytyy puukerrostalorakentamiseen liittyvää opetustakin lisätä. (H2).

Isossa kuvassa ja yleisesti puukerrostalorakentamisesta voitaisiin saada halutumpaa ja kilpailukykyisempää esimerkiksi kaavoituksen avulla. Puukerrostaloalueiden kaavoituksessa olisi hyvä miettiä tonttien muodot ja maanmuodoille voitaisiin antaa huomiota. Jo kaavoitettaessa uusia alueita olisi hyvä, jos huomioitaisiin työmaatoteutuksen näkökulmaakin. (H1). Puukerrostaloja kaavoitettaessa tulisi ottaa paremmin huomioon se infrastruktuuri, jolla puurakentaminen pystyttäisiin kustannustehokkaasti ja kilpailukykyisesti toteuttamaan. Esimerkiksi A-luokan vesilähteiden olisi syytä pystyä palvelemaan useita puukerrostaloja kerralla. Lisäksi puukuitueristeiden salliminen kerrostaloissa olisi tärkeää puukerrostalorakentamisen kannalta. (H6).

Hankkeissa tarvitaan yhteispeliä ja nopeaa päätöksentekoa. Puukerrostalorakentaminen vaatii eri osapuolten satsaamista enemmän. (H4). Koulutuksessa tarvittaisiin lisää puurakenteiden suunnittelun opetusta. Nykyisellään kohteissa on usein niin, että betonirakenteita suunnitelleen pitäisi suunnitella puukohde. Tällöin haasteena on, että ylimitoitetaan, kun suunnittelussa ei ole samanlaista varmuutta. Ylimitoitus puurakenteissa johtaa kustannuksiin. (H6). Puutalojen suunnittelussa ei toimi tapa, jossa piirretään betonitalo ja yritetään vaihtaa runkomateriaaliksi puu. Betonitalot on syytä piirtää omilla vahvuuksilansa ja puutalot kannattaa suunnitella puutalon vahvuuksilla alusta asti. (H4). Rakennus- alalla tulisi kehittää puukerrostaloihin liittyvää tietoutta eteenpäin kaikkien alojen suunnittelijoiden osalta. Suunnittelijoiden tulisi ymmärtää ja osata eri rakennejärjestelmien erityispiirteet ja rajoitteet. Eri erityispiirteet ja ominaisuudet tulee huomioida jo hankkeen alkuvaiheista asti. Lisäksi suunnitteluratkaisuiden vakiointi on tarpeen. (H1).



Puukerrostalorakentamisessa tarvittaisiin avoimuutta eri toimijoiden välillä. Osaamista tulisi jakaa, eikä kehittää kaikkea yksin. Kansainvälisessä oppimisessa piilee mahdollisuus saada puurakentamisesta kilpailukykyisempää. On hyvä, että ulkomailla tehtyjä laboratoriomittauksia voidaan käyttää Suomessakin. (H4). Puurakentamisen haasteisiin vastaamisessa korostuu yhteistyökumppaneiden tärkeys. On tärkeää, että puukerrostalorakennushankkeessa on mukana hyvät toimijat ja osapuolet, sekä osapuolten välillä on selkeä vastuunjako. Tämä korostuu varsinkin silloin, kun tehdään jotain uutta, mitä ei ole ennen tehty. Tulee kiinnittää huomiota selkeisiin sopimuksiin ja vastuunjakoon. Lisäksi on syytä huolehtia linjoista ja yleisistä käytännöistä hankkeessa. On myös syytä varata kunnolla aikaa suunnitteluun, vaikka tehtäisiin tilaelementeistä. (H1).

## 4.7 Massiivipuiset suurelementit

Massiivipuisten ja rankarakenteisten rakenteiden rakennusfysikaaliset eroavaisuudet on olennaista ymmärtää. Rakenteen käyttäytyminen ja kestäminen pitkällä aikavälillä tulee miettiä. Rakennusfysikaalisessa mielessä esimerkiksi CLT toimii kuten hirsitalo. Kosteusmuutokset voivat olla tavallisesti puussa isoja, minkä takia valmistuksen ja rakentamisen olosuhteet on tunnettava. (H4).

Akustiikkaan tulee puukerrostalorakentamisessa kiinnittää erityistä huomiota. Värähtelyjen hallinta vaatii osaavaa suunnittelua. Haasteena on se, että värähtelyjen osalta esimerkiksi RIL:n julkaisemat oppaat eivät huomioi massiivipuulaattoja, mikä nykyisillä tulkinnoilla johtaa paksumpiin laattoihin, nostaen kustannuksia. Suomessakin jossain kohteessa on jo mennyt läpi yleisemmin Euroopassa käytössä oleva Itävallan normien mitoitustapa massiivipuun värähtelyssä. (H4).

Massiivipuuelementit ovat vastaus puurakentamisen osalta tietomallinnusmaailmaan. Suunnittelijat voivat piirtää ja mallintaa elementit ja käytännössä täydessä mittakaavassa pystytään työstämään alusta loppuun mallinnettua vastaava elementti. Massiivipuuelementit voidaan työstää CNC-koneella alusta loppuun. Massiivipuiset elementit ovat myös yksi 3D-tulostuksen muoto. Massiivipuisten elementtien tarkka tietomallintaminen ja teollinen tuotanto yhdessä mahdollistavat sen, että tuotanto on kustannustehokasta, vaikka erä koko olisi vain yksi kappale. Täydennysrakentamisen hankkeissa massiivipuiset elementit ovat hyviä. Massiivipuisten elementtien teollinen tuotanto mahdollistaa sen, että vanhat rakenteet laserkeilataan ja mallinnetaan, joiden pohjalta voidaan mallintaa yksityiskohtaiset massiivipuiset elementit. (H4).

Elementit ovat hyvin mittatarkkoja. Massiivipuun toleranssit ovat 2–5 mm tai jopa vähemmän eli huomattavasti pienemmät kuin esimerkiksi betonissa. Lisäksi CLT:n hyötynä on hyvä lujuus suhteessa sen keveyteen. CLT on lähes yhtä lujaa kuin perusbetonit, mutta painaa vain viidenneksen betonin painosta. Elementit ovat lisäksi muotoa muuttamattomia. LVL on vielä merkittävästi CLT:tä lujempi materiaali. (H4).

Massiivipuu tulee viimeistään hyväksi kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi verrattuna rankarakentamiseen, kun puukerrostalosta tehdään yli 5 kerrosta korkea. Yli 5 kerrosta korkea rakennus alkaa olla kuormien suhteen haasteellinen rankarakenteisille taloille. Rankarakenteissa kohteissa voidaan jäykistysmielessä laittaa esimerkiksi kerrannaisliimattu LVL-elementti seinien sisään, mikäli jäykistys halutaan hoitaa puurakenteisena. (H4).

Massiivipuisia suurelementtejä käytettäessä vaaka-asenteisilla elementeillä levyn korkeus määrää kerroskorkeuden. Pystysuuntaisesti asennetuilla massiivipuuelementeillä saadaan enemmän vapauksia kerroskorkeuden suhteen. Kerroskorkeudessa elementin päälle tulee vielä vaimennuskumit sekä välipohjarakenne. Toisaalta välipohja voidaan asentaa myös konsoleilla seinään, jolloin kerroskorkeus ei samalla tavalla kasva. (H4).

Välipohjarakenteen paksuus vaihtelee tuotteen ja jännevälin mukaan. Massiivipuisilla suurelementeillä jännevälit ei saisi kasvaa liiaksi. 6 metrin jänneväleihin asti päästään vielä CLT-välipohjalla. Kun jänneväli kasvaa 6 metristä yli, täytyy käyttää esimerkiksi ripalaattarakenteita. CLT-elementeillä ja teräskannatinpalkeilla voidaan tehdä toimivia liittorakenteita, joilla voidaan saavuttaa pitkiäkin jännevälejä. CLT:llä pintaa voidaan saada välipohjissa näkyviin, mutta esimerkiksi ripalaatoissa pintaa ei saada näkyviin helposti. Lisäksi välipohjarakenteissa tulee huomioida välipohjien paksuus ja talotekniikan vaatimat reitit. (H4).

Arkkitehdin ja suunnittelijan täytyy ymmärtää CLT rakennusmateriaalina ja elementtien toteutus sekä tehtaassa, että työmaalla. Suunnittelussa tulee huomioida, että jännevälit soveltuvat puulle. Väliseinät kannattaa jo suunnittelun alussa piirtää riittävän paksuina. Suurelementtijärjestelmä tarjoaa enemmän vapauksia arkkitehtuurille ja muodolle kuin tilaelementtijärjestelmä. CLT:stä tehdyt suurelementit antavat arkkitehtonisia vapauksia. Voidaan tehdä esimerkiksi aukotuksia ja muita ulokkeita. Toisaalta CLT-levyissä ikkunaan varten tehdyistä aukoista tulee hukkaa. Suuret ikkunat voidaan myös toteuttaa esimerkiksi pilari-palkkirakenteiden avulla. Kun halutaan rakentaa mahdollisimman ohuita ulkoseiniä tai osastoivia väliseiniä, saadaan massiivipuulla usein rakennevahvuudessa säästöjä. Massiivipuun käytöllä voidaan joissain tapauksissa pystyä lisäämään tuottavaa pinta-alaa. Tyypillisesti puukerrostaloissa väliseinien rakennepaksuudet ovat yleensä 250 mm tai yli kantavissa huoneistojen välisissä väliseinissä. Betoniset väliseinät ovat hieman ohkaisempia, noin 180–200 mm. Väliseinien rakennepaksuudet ovat siis yleensä paksumpia kuin betonirakennuksissa. Lisäksi suunnittelijan on tiedettävä, mitä CNC-työstökeskuksella voidaan tehdä ja mitä ei. Esimerkiksi elementtisuunnitelmien pitää olla sellaisia, että ne ovat tehtävissä työstökeskuksella. Elementti on suunniteltava siten, että se on mahdollista valmistaa ja tehdä. Olennaista on miettiä esimerkiksi väliseinien aukot ja reiät siten, että ne voidaan tehtaalla koneilla toteuttaa. Lisäksi on huomioitava kustannustehokkuus elementin suunnittelussa ja valmistuksessa. (H4).

Massiivipuulle pitäisi antaa arvoa. Massiivipuussa pystytään jättämään pinnat näkyviin. On haastavaa, jos ajatellaan, että massiivipuinen täysin vertailukelpoinen kipsilevypin-  
taiseen rankarakenteeseen. Riskinä on kuitenkin se, miten todellisuus vastaa odotuksiin  
esimerkiksi CLT-rakenteessa. Todellisuudessa puu halkeilee kuivuessaan ja puuraken-  
teissa on jatkuvaa pientä elämistä. Haasteena on, jos esimerkiksi odotetaan, että seinä  
pysyy täysin saman näköisenä aina. Halkeilu ja puun eläminen voidaan nähdä riskinä.  
Puurakenteissa pienet halkeilut ovat kuitenkin lähinnä kosmeettista vaivaa (H4).

Kipsilevyistä pitää tehdä paljon äänisyistä. Toisaalta esivalmistusta voidaan kipsilevyi-  
neen tehdä pitkällekin, sillä esimerkiksi palokipsit, palokatkot ja muut voidaan asentaa jo  
valmiiksi. Massiivipuuelementtejä voi olla mahdollista teollisesti esivalmistaa pidemmäl-  
lekin, esimerkiksi kiinnittämällä julkisivuverhouksia valmiiksi (H4).

Massiivipuuelementeillä on pystytty puurungon osalta nostamaan ja asentamaan jopa ker-  
ros kahdessa päivässä. Jos lattiavaluja ei tehdä, niin puurakentamisessa ei tarvita saman-  
laisia kuivumisaikoja kuin betonirakentamisessa. Kuivumisen odottamisen sijaan pääs-  
tään suoraan jatkamaan töitä. Puu on nopeasti kuivuva materiaali. Tämän takia puu on  
pinnoituskelpoinen erittäin nopeasti. Kun puurakentamisessa saadaan joko sääsuoja tai  
vesikatto päälle, saadaan olosuhteet hallintaan ja päästään nopeasti sisävalmistusvaiheen  
töihin. (H4).

Massiivipuuelementeistä rakennettaessa ”rekkaralli” vähenee merkittävästi. Massiivi-  
puisten elementtien keveyden takia runkotoimitusten logistiikan järjestäminen on hel-  
pompaa. Yhteen kuljetukseen saadaan huomattavasti enemmän elementtejä. Kuljetta-  
mista ei rajoita massiivipuuelementeissä paino vaan kuutiomäärä. Oikea-aikaisista toimi-  
uksista huolehtiminen on tärkeää. (H4).

CLT-massiivipuuelementeistä rakennettaessa voidaan käyttää kevyempää nostokalustoa.  
Asennukset voidaan tehdä esimerkiksi autonostureilla. Toisaalta sateisina ja tuulisina päi-  
vinä ei välttämättä tehdä nostoja, jolloin niistä päivistä ei myöskään aiheudu kuluja. CLT-  
massiivipuuelementtien ja yleisestikin puurakentamisen etuna on työympäristön miellyt-  
tävyys asentajille. Puukerrostalorakentamisessa pölyisyyttä on vähemmän ja esimerkiksi  
tuoksu on hyvä. (H4).

Haasteena massiivipuuelementeissä on tällä hetkellä saatavuus. Haasteena voi olla saada  
nopeasti suuri määrä tuotteita. Esimerkiksi kerrannaisliimatusta LVL:ssä on haasteena  
se, että jatkojalostuksen tuotantokapasiteetti kerrannaisliimaamisessa on hidas. Tämän ta-  
kia esimerkiksi LVL:ää käytettäessä tilaukset tulee tehdä hyvissä ajoin. Perustuotannon  
LVL:n saatavuus on tosin hyvällä tasolla. Joskus ongelmana voi olla myös, että materi-  
aaleja, kiinnikkeitä ja ruuveja ei välttämättä saa nopealla toimituksella Suomesta. (H4).

Lisäksi haasteena on esimerkiksi se, että asennusliikkeillä ei ole rutiinia suurelementtien  
asentamisesta. Ongelmana voi olla myös se, miten saadaan elementit oikea-aikaisesti työ-  
maalle. CLT-massiivipuuelementeissä tulee huomioida näkyvien pintojen varjelu työn

aikana. Pintojen varjelu on haastavaa myös kaikessa muussakin esivalmistetussa tuotannossa. (H4).

Kosteudenhallinta on tärkeää ja se pitää osata. Kosteudenhallintasuunnitelma ja sen noudattaminen ovat tärkeitä asioita, jolloin kosteudenhallinta ei ole suurempi haaste. Jos ei käytetä sääsuojaa, niin erityisesti sadevesien poiston osalta kosteudenhallinta on tärkeää miettiä. CLT-massiivipuulementeillä toteutettaessa on monia erilaisia sääsuojaustapoja. Toisaalta sääsuojaa voidaan olla jopa käyttämättä, jos asennetaan pelkkää puuta, kumitassuja sekä ruuveja ja vedet ohjataan pois kosteudenhallintasuunnitelman mukaisesti. CLT-massiivipuulementtien osalta on hyvä muistaa, että osat saavat kastua, jos niissä ei ole mitään kosteudesta pilaantuvaa. Puhtaalla puulla kosteusaltistuminen ei haittaa, kunhan kosteusaltistus ei ole jatkuvaa ja pitkää. Joissain kohteissa haasteena puun kunnolla kastumisessa on ollut se, että näkyväksi pinnaksi tarkoitettu kastunut puu on saattanut kuivaa liian nopeasti. (H4).

Kosteuden osalta on olennaista ymmärtää tuotantokosteus, varastointikosteus ja asennuskosteus. On tärkeä ymmärtää elementtien kosteuskäyttäytyminen ja muodonhallinta. Muodonhallinta ja kosteuskäyttäytyminen ovat tärkeitä, sillä toleranssimailma tulee täsmällisesti tavoittaa. CLT-massiivipuulementeissä turpoaminen on kuitenkin hyvin maltillista elementin kokoon nähden. Haastavia kohtia ovat rajapinnat muihin materiaaleihin. Betonitasojen, joista lähdetään puulementeillä ylöspäin, tulisi olla toleranssiltaan puulementtien luokkaa. Lisäksi tulee huomioida ja hallita painumat eri materiaalien välillä. Painumat tulee esimerkiksi miettiä, kun betoniseen kuiluun yhdistetään puurakenteita. (H4).

## 4.8 Rankarakenteiset suurelementit

Haastateltavan H5 (2018) mukaan toteutetuissa kohteissa tehtiin vertailua kantavien seinien ja pilari-palkkijärjestelmän kesken. Molemmista suurelementit ja kantavat seinätjärjestelmä näyttäytyi selvästi halvempuna runkona. Lisäksi haastateltavan organisaation tapauksessa oli luontaista siirtyä käyttämään rankarakenteisia suurelementtejä puukerrostalojen rakennejärjestelmässä. Rankarakenteiset suurelementit ovat alun perin pientaloitehtaan puolelta peräisin. Rankarakenteisia suurelementtejä on sittemmin täydennetty rakenneliimatulla välipohjilla ja kattoelementeillä. (H5).

Rankarakenteisilla suurelementeillä saadaan tehtyä erittäin suuria elementtejä, maksimissaan 56 m<sup>2</sup> seinäelementtejä. Rankarakenteisten suurelementtien kuljetus pääsääntöisesti onnistuu hyvin. Toisinaan elementit saattavat olla niin pitkiä, että siitä syntyy haasteita. Rankarakenteisten elementtien paino ei kuljetuksessa aiheuta juuri minkäänlaista rajoitetta, vaan pituudet ja koot ovat ne asiat, mistä voi syntyä haasteita. (H5).

Rankarakenteisia elementtejä puoltaa kustannusasiat. Jos saadaan 3 elementtiä yhden hintaan, tarkoittaa se sitä, että niistä kannattaa tehdä. Rankarakenteisissa suurelementeissä

esimerkiksi vinot kulmat ja monimuotoisuus eivät vaikuta mahdollisesti hintaan. Tila-elementissä monimuotoisemmat rakennukset vaikuttavat merkittävästi ja kustannustehokkuus katoaa. (H5).

Monimuotoisuuskin onnistuu rankarakenteisilla suurelementeillä, mutta sitä ei kuitenkaan vaadita. Kaikilla järjestelmillä onnistuu helppo talo, mutta vaikeammat kohteet tiputtaa rakennejärjestelmä kerrallaan järjestelmiä pois. Rankarakenteisilla suurelementeillä tehtäessä talokaan ei jää arkkitehtuuriltaan köyhemmäksi, kun on mahdollista toteuttaa esimerkiksi ripustetut parvekkeet. 3,2 metriä on vakio kerroskorkeus rankarakenteisissa suurelementeissä. Rankarakenteisissa suurelementeissä lähtökohtaisesti on perushuonekorkeus 2,6 metriä. Toisaalta kerroskorkeudessa pystytään menemään jopa 4 metriin asti. Välipohjasta menee vain kansilaatta seinän päälle. Pitkälle viedyissä rankarakenteisissa suurelementeissä lisätoita on vähän. (H5).

Rakenneosille sopivaa pohjan optimointia pitäisi tehdä kaikessa puurakentamisessa. Jos pohja ei sovi rakennejärjestelmälle, siitä tulee yksikköhinnoiltaan kallis. Pienemmät ja monimuotoisemmat elementit tulevat kalliimmiksi kuin isot ja selkeät. Suunnittelussa pyritään siihen, että välipohjan leveyden mukaan saadaan pohjia suunniteltua ja tehtyä. Tämä selkeyttää seiniä ja kaikkia muita rakenteita. Esimerkiksi on tyypillistä, että välipohjakansi on 3 elementin levyinen. Yksi elementti on 2,5 m leveä, joten välipohjakanasta tulee 7,5 m leveä siten, että mitataan seinän keskelle asti. Tällöin huoneleveydeksi tulee 7,2 m. Toisaalta suurempiin huoneistoihin mentäessäkin rankarakenteisilla suurelementeillä päästään jopa yli 7 metrin jänneväleihin helposti, jolloin tilaa voidaan tehdä helposti huoneistoihin. Selkeä ja suoraviivainen pohjaratkaisu helpottaa huomattavasti tekemistä. Jos kokonaisuudesta tehdään liian monimuotoinen, niin pohjan optimoinnista ja selkeän pohjaratkaisun luomisesta tulee haastavaa. Erittäin selkeät pohjaratkaisut ovat kaikilla rakennejärjestelmillä ja tavoilla helppoja tehdä. Rakennejärjestelmän ja rakennusmateriaalien valinnassa merkityksellistä on, että valitaan soveltuvien tapojen tekeminen kohde. (H5).

Rankarakenteisten suurelementtien hyödyt ja kilpailuedut liittyvät tuotantomenetelmiin. Haastateltavan H5 (2018) mukaan heillä ei ole käytössä automaattilinjoja, mutta juuri sen ansiosta pystytään tekemään monimuotoisia ratkaisuja ja pystytään monimuotoiseen rakentamiseen. Varmennetut ratkaisut ja tiedot ovat olemassa nykyisestä puukerrostalojärjestelmästä ja toimintatavoista. Haastateltavan H5 (2018) mukaan haasteena rankarakenteisissa suurelementeissä on, että automatisoimattomuus voi tehdä tehtaan läpimenoajasta pidempää. Toisaalta tuotanto mahdollistaa eri rakennusosien rakentamisen eri materiaaleista. Esimerkiksi LVL:ää voidaan hyödyntää tarkoituksenmukaisissa paikoissa. Tuotannon joustavuus mahdollistaa erilaisten ja monimuotoisten asioiden tekemisen. (H5).

Elementit ovat tarpeeksi mittatarkkoja tekemiseen ja rakentamiseen, vaikka CNC-työstökoneen tason mittatarkkuuteen ei päästäkään rankarakenteisissa suurelementeissä. Isojakin kohteita pystytään toimittamaan siten, että niissä ei esiinny lainkaan mittavirheitä,

kun kohteet on suunniteltu tietomallintamalla. Kun suunnitteluratkaisut ja suunnittelumenetelmät ovat kunnossa, niin tuotannossakin päästään sujuvasti eteenpäin. (H5).

Huoneiston sisäisiä väliseiniä ei kannata tehdä kantavilla väliseinillä. Huoneistojen väliset seinät ovat kaikki kantavia. Käytännössä kantavia ovat myös ulkoseinäelementit, mutta ne eivät ole jäykistäviä seiniä. Jäykistäviä seiniä on käytännössä siis huoneistojen väliset seinät. Rankarakenteisia suurelementtejä käytettäessä pystytään perusrakenteen sisällä pelaamaan paljon jäykistysrakenteilla. Tavanomaisissa kohteissa ei erillisiä jäykistysratkaisuita tarvita. (H5).

Rankarakenteinen suurelementti on vaikeuksissa, kun on pienellä pohjapinta-alalla ja korkea talo. Korkeat pistetalot ovat siis työläitä tehdä rankarakenteisista suurelementeistä. Haastateltavan H5 (2018) mukaan tällä hetkellä on esimerkiksi kehityksessä 8-kerroksinen pistetalo, jossa ensimmäinen kerros toteutetaan LVL:ää käyttämällä jäykistävinä seiniä. On ymmärrettävä, että jäykistys tietysti maksaa. Haasteena on se, että pistetaloissa jäykistyksen lisäkuormat ovat niin isoja. Lisäksi pistekuormien kestävyys on haaste ja usein leimapaine onkin se mitoittava tekijä. (H5).

Haasteena suurelementeissä ja muissakin esivalmistetuissa on se, että mitä valmiimmaksi tuote halutaan, sitä enemmän sitä pitää suunnitella. Jos halutaan mennä vielä enemmän tuotannossa automatisoinnin suuntaan, lisää se vielä entisestään suunnittelutarvetta. Tärkeätä on saada suunnittelussa ja suunnitteluratkaisuissa toistoa. Silloin riskitkin olennaisesti pienenevät. (H5).

Haasteena on se, että löytyy tilaajia, jotka eivät pidä rankarakentamista vaihtoehtona. Usein näissä tilanteissa mielletään, että ollaan liian lähellä betonirakentamista. Tällöin betonirakentaminen koetaan helpommaksi ja usein tehdään betonista. (H5).

Tällä hetkellä puurakentamisessa elementtien saatavuus voi olla jopa parempi kuin betonielementeissä. Paikoittain esimerkiksi puujulkisivut ovat jopa korvanneet betonijulkisivuja. (H5).

Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän toimittamien rankarakenteisten suurelementtien kokonaisvalmiusaste on hyvä. Heidän toimittamissa elementeissä on esimerkiksi läpiviennit valmiina, joten talotekniikka pääsee suoraan jatkamaan töitä. Rankarakenteisissa suurelementeissä ei ole sellaisia erillisiä reikätoita, mitä betonissa tulee. Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän toimittamissa elementeissä esimerkiksi sähköistykset ovat palorasioituina valmiina. Muutkin elementteihin liittyvät tyypitykset ja tuotteistukset kunnossa. Perusasiat on harjoiteltu kuntoon tekemällä todennettuja ratkaisuita, joita ennenkin on käytetty. Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän kohteissansa liitokset ja muut sen kaltaiset työmenetelmiin ja tekniikkaan liittyvät asiat on harjoiteltu kuntoon tekemällä perusasioissa toistoa ja kehittämällä tuotetta ja järjestelmää eteenpäin. (H5).

Osan alan toimijoiden suurelementit toimitetaan ilman sisälevyjä liikkeelle siten, että sähkötyöt, sisälevytykset ynnä muut työt jäävät työmaalle tehtäväksi. Joidenkin toimijoiden tarjoamat keskeneräiset elementit estävät sisätöiden aloituksen. Erityisesti sellaisia keskeneräisiä elementtejä käytettäessä, joista puuttuu levytykset ja sähkötyöt, suurelementtien tehokkuus ja kilpailukyky kärsivät. (H5).

Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän organisaatiossa rankarakenteiset suurelementit tehdään siten, että ne voidaan tuotantolinjalta käytännössä kuljetuksen kautta suoraan asentaa kohteeseen. Elementit voidaan asentaa joko suoraan rekasta tai työmaalta välivarastosta. Joillain toimijoilla työmaalla on esimerkiksi aina pieni puskurivarasto elementtejä. Kuljetuksista viedään pyöräkuormaajalla tai trukilla elementit sääsuojaan. Toimiva työmaavarastointi mahdollistaisi kuljetusten tehostamisen, mutta tontit ovat niin pieniä, että pääasiassa elementit pidetään ja varastoidaan tehtaalla. Tehdasvarastoinnissa haasteena on kuljetukset ja kuljetusten sovittaminen aikatauluun, ottaen huomioon esimerkiksi asennustahti ja sääolosuhteet. Tehtaalla yleensä huputetaan ja suojataan kaikki elementit. Osa toimijoista ei muovita elementtejä ollenkaan, vaan järjestää umpikuljetukset. (H5).

Suurelementtiratkaisuiden etuna on, että ne vievät vähemmän tilaa varastoinnissa, kuin tilaelementit. Asennusaika rankarakenteisissa suurelementeissä on kuitenkin pidempi kuin tilaelementeissä. Suurelementtejä tehdään vielä usein tehtaalla siinä vaiheessa, kun rakennustyöt ja elementtiasennukset on aloitettu jo työmaalla. Esimerkiksi, kun asennetaan työmaalla ensimmäisen kerroksen elementtejä, saattavat viidennen kerroksen elementit olla vielä tehtaan tuotannossa. Aikataulusta puhutaan karkeasti, että kerros per porrashuone per viikko asennetaan rankarakenteisilla suurelementeillä. Riippuu kuitenkin monesta tekijästä, onnistutaanko tässä aikataulussa. Runkoasennukset ovat samoissa ajoissa, kuin betonissa. Iso ero aikataulussa ja työssä tulee siinä, että pitkälle esivalmistettuja suurelementtejä käytettäessä, päästään välittömästi muihin sisätöihin. Pitkä aika odottelua on mahdollista jättää välistä pois. Täydentävät työt, kuten kuivatukset ja odottelua vaativat kuivumiset voivat jäädä pois, kun käytetään pitkälle esivalmistettuja suurelementtejä. Valmiit elementit, joista päästään jatkamaan nopeammin ovat tuotannon etuna. (H5).

Suurelementeilläkin on todellisuudessa mahdollisuus viedä rakennustyötä nopeastikin eteenpäin. Kun rakennus tehdään sääsuojassa, niin sisätyöt saadaan käytännössä heti käyntiin, kun ensimmäisen kerran on välipohja asennettu. Jos kohteessa ei käytetä valulattioita, niin voidaan välttyä kuivatuksilta ja odottelulta. Tärkeätä on miettiä ja toteuttaa kuivarakentamisen ketju kokonaan läpi. Tärkeätä huomioitavaa suurelementtien käytössä on sääsuojaus, eli huputus, korkea valmiusaste ja kuivarakentamisen toteuttaminen. (H5).

NR-kattoelementti on todella nopea tapa sulkea talo. Kattoelementti on kokonaistaloudellisempi verrattuna esimerkiksi tasolattoihin, joita kattojen tekemisessä myös käytetään. (H5).

Haastateltava H5 (2018) mukaan heidän toimittamissansa rankarakenteisissa suurelementeissä detaljiikka on pitkälti asennusjärjestysvapaata. Välipohjat käytännössä voi aloittaa mistä suunnasta vain. Suurelementeissä ei muutenkaan ole merkittävää ongelmaa esimerkiksi nostoissa tai asennusjärjestyksessä. Kerrostaloissa liittymä sokkeliin on säätövarallinen. Erittäin tärkeää kuitenkin on, että ensimmäinen kerros saadaan asennettua suoraan, sillä muuten harjalle asti toistuvat samat säätö- ja asennusvirheet. (H5).

Suurelementtitekniikkaa voidaan käyttää säältä suojaassa, teltan alla, joka onnistuu helposti. Toimijat ovat rakentaneet suurelementeistä kerrostaloja esimerkiksi siten, että talo tehdään teltassa, jossa tukirakenteissa on siltanosturi. Elementit kuljetetaan huputettuna suojattuna työmaalle. Työmaalla ne saman sääsuojan alta nostetaan siltanosturilla ylös teltan alle ja asennetaan. (H3).

Sääsuojaus ja kuivaketju mahdollistavat onnistuneen kosteudenhallinnan. Haastateltavan H5 (2018) mukaan heidän toimittamissa rankarakenteisissa suurelementtikohteissa rakennetaan sääsuojassa. Sääsuojassa suurelementeillä rakentaminen on todennäköisesti puurakentamisen ratkaisusta kaikista häiriövapain. Sadepäivinä on helppo, jos elementit saa tehdä tehtaassa. Tärkeätä on koko prosessin tehostaminen. Kun tehdään sääsuoja hankkeeseen, pitää se käyttää täysin hyödyksi. Tämä onnistuu esimerkiksi käyttämällä siltanostureita, joita voidaan hyödyntää hyvin rankarakenteisia suurelementtejä käytettäessä. Siltanostureiden 3000–3500 kg:n rajat ovat toisaalta vastassa. (H5).

## 4.9 CLT-tilaelementit

Haastateltavan H1 (2018) mukaan jo ennen toteutetun puukerrostalorakennushankkeen aloitusta mietittiin eri vaihtoehtoja rakennejärjestelmälle ja sen toteutukselle. Hankkeen alussa tehtiin selvitystä eri alan toimijoiden kanssa siltä pohjalta, mitä ajateltiin ja yritettiin saavuttaa hankkeessa. Lisäksi asiantuntijoita hyödynnettiin rakennejärjestelmän valinnassa. Tärkeätä rakennejärjestelmän valinnassa ja koko hankkeessa oli kokonaisuus ja sen hahmotus. Hankkeessa haluttiin hyödyntää ja kehittää suomalaista puuosaamista. (H1). Haastateltavan H1 (2018) mukaan toteutetun hankkeen osalta pohdittiin eri vaihtoehtoja, tilaelementtejä, suurelementtejä ja pilari-palkkijärjestelmää eli käytännössä kaikkia vaihtoehtoja. Hankkeessa lähdettiin aluksi viemään pilari-palkkijärjestelmää eteenpäin sen etujen takia, mutta koska sillä ei päästy kustannusten osalta tavoitteisiin, täytyi ratkaisu jättää ja yrittää toista järjestelmää. Pilari-palkkijärjestelmän etuna on se, että rakennus on heti sääsuojan alla, kun rakennus on saatu kattokorkeuteen. Lisäksi pilari-palkkijärjestelmä olisi tarjonnut sopivasti muunneltavuutta. Samanaikaisesti organisaatiolla oli toinen hanke käynnissä, jossa päätettiin hyödyntää suurelementtitekniikkaa, joten myös kyseiseen järjestelmään liittyvät ominaisuudet oli mietitty läpi. Rakennejärjestelmän valinnassa tutkittiin niitä vaihtoehtoja, joilla paloasiat, ääniasiat ja kosteusasias saatiin toteutettua. Lopulta valinta osui hankkeessa rakennejärjestelmän osalta CLT-tilaelementteihin. (H1).



Haastateltavan H2 organisaatiossa on päädytty tekemään puukerrostalot CLT-tilaelementtitekniikalla, koska siinä on pystytty näkemään eniten puukerrostalorakentamisen hyötyjä. CLT-tilaelementtitekniikka on valittu myös siksi, että siinä nähdään suuri potentiaali. Tällä hetkellä CLT-tilaelementtitekniikka ei kuitenkaan välttämättä ole kustannustehokkain vaihtoehto rakentamisessa. Muut toimijat eivät vielä välttämättä näe hyötyjä tai ekonomiaa CLT-tilaelementtitekniikassa. Teollinen valmistusaste on mahdollista saada pisimmälle tilaelementtitekniikassa. Tehokkuus ja tehokas tekeminen on ollut määräävä seikka tilaelementtitekniikan valinnassa. Tilaelementtitekniikassa pystytään myös tekemään suurempia kokonaisuuksia valmiiksi. Pilari-palkkijärjestelmässä, kuten myös suurelementeissä on osittain samankaltaisia hyötyjä. Pilari-palkkijärjestelmää tai suurelementtejä voidaan esivalmistaa, mutta niistä ei kuitenkaan saada niin valmiita kuin tilaelementtitekniikalla. Tilaelementtitekniikan hyötynä on lisäksi se, että asunnon hinta on pitkälti jo selvillä tilaelementtitoimitusten tarjousten perusteella, koska tilaelementti toimitetaan käytännössä valmiina asuntona. (H2).

Tilaelementtitekniikka on haastava tilata. Tärkeätä on urakkarajojen ja sopimusten tarkka määrittely, jotta kustannusriskeiltä voidaan välttyä. Lisäksi ongelmana on toimittajien puute ja vähyys. Toimittajien vähyydestä johtuen on myös kilpailun puutetta. Haasteena ovat lisäksi samat asiat kuin muussakin puukerrostalorakentamisessa, eli esimerkiksi kosteudenhallinta ja äänitekniikka. (H2).

Esimerkiksi tilaelementtitoiteutuksessa voi tulla ongelmia, kun tilaaja tilaa arkkitehdiltä kohteen. Arkkitehtien ja suunnittelijoiden tulisi kiinnittää huomiota siihen, miten talo olisi teollisesti järkevästi toteutettavissa. On haastavaa, jos talo suunnitellaan siten, että jokaisesta elementistä tulee erilainen. Ongelmia voi siis tulla, jos taloa ei ole alusta alkaen jo suunniteltu esimerkiksi tilaelementeille. Jos jokaisesta tilaelementistä tulee erilainen, helposti saatetaan tuhota teollisen rakentamisen nopeus ja tehokkuus. Ratkaisuna edellä mainittuihin asioihin voisi olla se, että rakennesuunnittelijat ja arkkitehdit lähtisivät yhdessä tiiminä suunnittelemaan rakennusta. (H3).

CLT-tilaelementtitekniikka on rakenteen kannalta hyvä. CLT-tilaelementit toimivat kantava rakenteena. Lisäksi ne jäykistävät hyvin. Äänitekniikka ja akustiikka pystytään hallitsemaan, kun liitostekniikka on suunniteltu kunnolla. Organisaation toteuttamassa hankkeessa oli erillinen palotekninen mitoitus tehty ja palotekninen konsultti oli mukana. Paloasiat ja ääniasiat tulivat mukana, mutta eivät olleet rakennejärjestelmän valintaa määräävä tekijä. Ääneneristävyys on mitattu kohteessa ja niillä päästiin hyvin tavoitteisiin. Myös niin ikään palotekniikka, äänitekniikka ja ilmanpitävyys saatiin hyvin täyttymään kohteessa. Liitosdetaljiikka siis kokonaisuudessaan oli onnistunutta hankkeessa. Parhaiten tuntui hankkeessa onnistuvan tilaelementtien suunnittelu ja valmistus. (H1).

CLT:lle ominainen halkeilu on riski. Halkeilut voi olla hallittuja tai hallitsemattomia. CLT:n liimaustekniikka on huomioitava. CLT-levyissä osa toimijoista toimittaa syrjälii-

mattuja ja osa syrjäliimaamattomia. Tulee miettiä, miten liimaustapa vaikuttaa ulkonäköön, varsinkin jos CLT-levyn pinta jää näkyviin. On mietittävä, mihin halkeamat syntyvät, kun puu elää, halkeilee ja rakoilee. Halkeamat vaikuttavat ulkonäköön, äänitekniikkaan, palotekniikkaan ja energiatekniikkaan. Lisäksi CLT-tilaelementtitekniikan haasteena on mittojen soveltuvuus ja arkkitehtisuunnittelun tehokkuus. CLT-tilaelementtitekniikkaa käytettäessä sen erityispiirteet on määriteltävä arkkitehdille ja arkkitehdin tulee ymmärtää ne suunnitellessaan. CLT-tilaelementtitekniikkaa käytettäessäkin arkkitehtisuunnittelu on tärkeää, mutta erityispiirteet ja ominaisuudet on huomioitava. Tilaelementtien osalta on toteutettava tehokasta suunnittelua. Toisaalta tilaelementtitekniikan hyöty on myös se, että tilat tulee käytettyä hyvin ja tehokkaasti. Kokonaissuunnittelussa on parannettava CLT-tilaelementtitekniikkaa käytettäessä. Esimerkiksi parvekkeiden liittäminen CLT-tilaelementteihin tuotti haasteita. CLT-tilaelementeillä rakennettaessa ja yleensäkin puukerrostalorakentamisessa pääsuunnittelijan rooli korostuu. (H1).

Tilaelementtitekniikkaa suunniteltaessa pitää LVI-tekniikan osalta miettiä, että suunnittelu tehdään tilaelementtitekniikkaan toimivaksi. Lämpö-, vesi- ja viemäritekniikka pitää tilaelementtitekniikassa hoitaa siten, että porrashuoneessa on pystysuuntainen reititys. Vesipisteiden sijainnin osalta kannattaa tilaelementtitekniikassa huomioida se, että vesipisteen sisältävät tilat kannattaa suunnitella porrashuonetta vasten, jotta vaakavedot reitityksestä vesipisteelle olisi lyhempiä. Ilmanvaihtokonehuone keskitetyllä järjestelmällä ei oikein palvele tilaelementtitekniikalla tehtävässä talossa. Huoneistokohtainen ilmanvaihto on käytännössä pakollinen tilaelementeistä rakennettaessa. Työmaalla käytännössä pitäisi pärjätä siten, että vain tilaelementtien saumat yhdistetään työmaalla. (H2).

Seuraava asia ei ole ongelma rakennuttajan näkökulmasta, mutta vaikuttaa selvästi tilaelementtitekniikan yleistymiseen. Tilaelementtitehtaiden haasteena on, että tilaelementtitehdasta perustettaessa pitäisi tehtaalle saada jatkuvaa työkuormaa. Vain jatkuva työkuorma mahdollistaa tehtaan tehokkaan pyörimisen ja pyörittämisen. Rakennuttaja tai rakennusliike voivat odottaa sopivaa hetkeä rakentamisen aloittamiseen. Esimerkiksi sopiva hetki voi olla, että asuntoja on tarpeeksi varattu tai myyty, niin voidaan lähteä rakennushankkeeseen. Tätä samaa ajatuslogiikkaa ei voida käyttää tilaelementtitehtaassa. Tehdas ei voi tehdä tilaelementtejä valmiiksi ja odotella kuukausia, josko tilaelementit lähtisivät pihasta eteenpäin. (H2).

Asuntojen rakennus tilaelementtitehtaassa on nopeata. Tehdasvalmistuksen ansiosta työmaalla vietetty aika lyhenee perinteisestä rakentamisesta, kunhan tilaelementit toimitetaan mahdollisimman valmiina. Toisaalta tilaelementtien valmistamisen ajoittamiskysymykset ovat yhteydessä myös esimerkiksi asuntojen myyntiin ja asukasmuutoksiin. Teollinen rakentaminen auttaa esimerkiksi parantamaan laatua, pienentämään hukkaa ja parantamaan työergonomiaa. Tehdasoloissa ja teollisen rakentamisen avulla kosteudenhallinta pystytään järjestämään paremmin. Teollisen esivalmistuksen ansiosta lisäksi työturvallisuus paranee. (H2).

Haastateltavan H1 (2018) mukaan organisaation toteuttamassa hankkeessa tiedettiin toteutuksen kannalta valmiiksi, minkälainen tontti oli, ja minkälaiset talot tontille tultaisiin tekemään. Sitä kautta lisäksi tekninen puoli, kuten logistiikka, nostokalusto, varastointi ja muut asiat tuli mietittyä valmiiksi. Isot linjat hankkeen toteutukselle mietittiin jo alustavassa hankkeen yleispiirteiden kartoituksessa. Lisäksi hankkeen aikana tehtiin jatkuvaa työmaa-aikaista raportointia kohteesta. Kohteessa oli siis rakennusaikainen seuranta ja lisäksi jälkiseuranta. Seuranta toteutettiin objektiivisesti hankkeen ulkopuolisen silmin ja tästä seurannasta ja raportoinnista pyrittiin oppimaan uutta. (H1).

Toteutetussa kohteessa CLT-tilaelementtitekniikkaan liittyviä toteutuksen hyötyjä oli se, että rakennus oli pitkälle ja hyvin suunniteltu, sekä CLT-tilaelementeissä saatiin korkea esivalmistusaste. Kun valmiit suunnitelmat saadaan tehtaalle ja ne lähtevät siellä tuotantoon, tulee tilaelementtejä nopealla tahdilla. Korkea esivalmistusaste johtaa siihen, että on vähemmän hallittavia osia ja tekijöitä. Toteutetussa kohteessa hyötynä CLT-tilaelementtitekniikan toteutuksessa oli se, että CLT-tilaelementtien päällä oli jatkuva sääsuoja. Vesikatto nostettiin päälle sitä mukaa, kun kerros oli nostettu. Vesikatto oli lohkoina vierekkäin 4-osassa. Toteutus tehtiin siten, että nostettiin toinen puoli talosta, jonka jälkeen nostettiin katto takaisin päälle. Näin myös CLT-tilaelementtitekniikalla pystyttiin huolehtimaan sääsuojasta. (H1).

Mitä enemmän CLT-tilaelementtitekniikalla toteutettuja puukerrostaloja tehdään, sitä nopeammin toteutus alkaa sujua. Hankkeen eri osapuolet kehittyvät ja saavat kokemusta, mikä osaltaan nopeuttaa tekemistä. Aikataulullisesti yhdessä toteutetussa kohteessa on nostettu kerros viikossa. Asuntojen kalusteet, lattiapinnat ja LVI-tekniikka on tehty tässä ajassa. Tekeminen voi vielä hieman nopeutua myöhemmissä kerroksissa. Aikataulutusta ja yhteispeliä tehtaan kanssa on tärkeää. Työmaahenkilöstölle tilaelementtitekniikan käyttö saattaa vaatia jopa vähän vähemmän tuotannon suunnittelua kuin perinteinen rakentaminen. Tilaelementtitehtaalle vaaditaan taas enemmän tuotannon suunnittelua. Periaatteessa tilaelementtirakentamisessa työmaalla ei tarvittaisi kuin hyvä asennussuunnitelma. Kuitenkin liitokset pitää miettiä valmiiksi. Liitostekniikka on kehittynyt paljon ja sitä myös kehitetään paljon, jotta tilaelementeistä tekemistä saataisiin vietyä eteenpäin. (H2).

Esivalmistelu, suunnittelu ja työn suunnittelu tehtaalla ovat tärkeitä ja ne tulee olla kunnossa. Muutoksien tekeminen harkittava tarkasti. Muutokset aiheuttavat erityisesti silloin haasteita, jos tilaelementit ovat jo tehtaalla valmistuksessa. Esimerkiksi lattiamateriaalin muuttaminen voi aiheuttaa merkittäviä hidastuksia. Asukasmuutosten hallinnointi tilaelementtitekniikalla on haaste. Ketju häiriintyy muutoksista. Toimijoiden pitää määrittää valmiusaste kohteen erityispiirteet huomioon ottaen. (H1).

Työmaatekniikan hallinnointi on haastavaa ja tarpeen tehdä huolella. Toteutetun kohteen työmaatoteutuksessa oli joitain haasteita aikataulujen ja työn aikaisen toteutuksen suhteen. Rakennustyömaan työnjohdon merkitys korostuu puukerrostalohankkeissa. Hank-

keessa oli tilaelementeissä korkea esivalmistusaste, mutta kohteen loppu tekeminen, kuten esimerkiksi sisävalmistusvaihe kesti liian pitkään. Teknisessä mielessä asuinpuukerrostalorakentamisessa tulee huomioida se, että varsinkin tilaelementtejä käytettäessä nostokalusto on oltava järeämpää ja nostokalusto on mietittävä tarkemmin. Suuret tilaelementit voivat olla hyvinkin painavia. Myös kuljetus, logistiikka ja varastointi tulee suunnitella ja niihin on kiinnitettävä huomiota. (H1).

Mittatarkkuus on työmaalla tärkeä asia. Kaikki tilaelementtirakentamisessa on millipeliä. Mittatarkkuutta mietittäessä on pohdittava elementin kantavan kohdan ero joka nurkassa. Rakennuksen suoruus ja siitä varmistuminen on tärkeää. Suoruuksista tulee huomioida ja tarkistaa asennuksen suoruus, lattian suoruus sekä muut mittatarkkuutta vaativat suorudet. Esimerkiksi pintalaatan tekemisessä on oltava työmaalla tarkkana. Jos pintalaatta on vinossa, koko asunto on siitä johtuen vinossa. Yksittäiset asiat, kuten rakentamismääräyskokoelma ja rakennuslupa vaativat, että pidetään rakennekatselmus. Tilaelementtitekniikan haasteena on se, että rakennekatselmuksessa ei käytännössä ole runkoa nähtävillä missään. Periaatteessa rakennustarkastajan pitäisi olla koko ajan paikalla, kun tehdään liitokset ja muut asiat työmaalla. (H2).

#### **4.10 Rankarakenteiset tilaelementit**

Haastateltavan H6 yrityksessä päädyttiin käyttämään puukerrostalojen rakennejärjestelmänä rankarakenteisia tilaelementtejä. Euroopan suurimman puurakentamisen toimijan kokemus ja osaaminen tukivat valinnassa. Haastateltavan H6 yhtiön osakkaana olevan Euroopan suurimman puurakentamisen toimijan 12 000 asunnon tuotantokokemus, olemassa oleva tuotantojärjestelmä ja rakennusjärjestelmä vaikuttivat päätöksen käyttöä rankarakenteisia tilaelementtejä. Kokonaisketjun hallinta onnistuu rankarakenteisilla tilaelementeillä rakennettaessa, sillä koko rakentamisen ketju suunnittelusta, tuotannon kautta työmaalle on pidetty saman toimijan alla. (H6).

Puukerrostalorakentamisen ja hankkeiden ominaispiirteitä arvioitaessa rankarakenteiset tilaelementit soveltuvat arviolta 80% kapasiteettiin. Rankarakenteisilla tilaelementeillä pystytään toteuttamaan suurin osa siitä puurakenteisesta asuntotuotannosta. Toisaalta vakioidut ratkaisut ja ohjaavat suunnitteluohjeet karsivat osan pois puukerrostalojen kokonaisasuntotuotannosta. (H6).

Rankarakenteisten tilaelementin kustannustehokkuus aiheutuu osittain siitä, että puuta käytetään niiltä osin, kun tarvitaan ja niissä pinnoissa, joissa on muulle materiaalille tarve, käytetään muuta materiaalia. Tärkeätä on teollisen valmistuksen hakeminen. Toisaalta ratkaisun on oltava kilpailukykyinen hinnaltaan, jotta voidaan tehdä volyymista ja teollista tuotantoa. (H6).

Tilaelementin runkomateriaalin ominaisuuksissa on eroja ja ne vaikuttavat moniin asioihin. Runkomateriaalina voi tilaelementeissä olla massiivipuinen tai rankarakenne. Rankarakenteisessa tilaelementissä esimerkiksi vääntöjäykkyydet nousevat esiin. Lisäksi kokonaisjäykistykseen on käytetty CLT-massiivipuulevyä hissikuiluissa, porrashuoneissa ja nousuissa. Massiivipuisilla tuotteilla, kuten CLT:llä pystytään tekemään isompia aukkoja ja jättämään puuta näkyviin paremmin kuin rankarakenteisilla tilaelementeillä. Rankarakenteisilla tilaelementeillä ei voida tehdä koko seinän kokoisia lasijulkisivuja. Tällaisiin kohteisiin CLT saattaisi olla ehkä hyvä. Toisaalta on tarpeen miettiä, miten isoja aukkoja ja ikkunoita tarvitaan ja minkä verran puuta tarvitsee olla näkyvissä. (H6).

Rankarakenteiset tilaelementit eivät toimi kovin hyvin enää puuosiltansa yli 8-kerroksisissa rakennuksissa. Rankarakenteisilla tilaelementeillä pystytään kuitenkin tekemään puuosiltaan 8-kerroksisia puukerrostaloja. Rakennejärjestelmän valinnassa on tärkeää ymmärtää se, että kaikkien materiaalien ei tarvitse sopia kaikenlaiseen tuotantoon. Tuotannossa kannattaa käyttää sellaista materiaalia ja rakennejärjestelmää sellaisessa kohteessa, mihin ne parhaiten sopivat. Rakennejärjestelmäkohtaisia eroja syntyy esimerkiksi siinä, missä puuta voidaan jättää asunnoissa näkyviin. Esimerkiksi rankarakenteissa ratkaisuisia seinät levytetty, joten käytännössä on mahdollista vain se, että katto on puuta, joka jää näkyviin. Rankarakenteisissa tilaelementeissä ei ole levytyksen takia mahdollista jättää niin paljon puuta näkyviin kuin massiivipuisissa ratkaisuisia. Massiivipuisissa ratkaisuisia rakenteellista puuta voidaan jättää näkyviin seinissäkin. (H6).

Rankarakenteisten tilaelementtien etuna on pitkälle viety esivalmistus. Elementit ovat sisäpinnoiltaan valmiita. Elementeissä on kylpyhuoneet valmiiksi sisällä. Keittiöt, komerot ja muut kiintokalusteet ovat paikallansa. Lisäksi IV-konehuoneetkin esivalmistetaan tehtaalla. Erilaiset liitos- ja eristystyöt tehdään tehtaalla valmiiksi. Sprinklerijärjestelmän osalta tulee Suomessa miettiä, tehdäänkö se työmaalla vai tilaelementtiin valmiiksi, jolloin kytkentä tapahtuu työmaalla. Yhtiön osakkaan mallissa kaikki mikä on teollisesti tehtävissä, on viety tehtaaseen. Esivalmistuksen ansiosta myös projektin dokumentointi ja laadunvarmistus helpottuvat, kun työstä suurin osa tehdään tehtaassa. Eri työprosessit tarkistetaan kuivissa ja valaistuissa sisäolosuhteissa. Mahdollisuus onnistua työsuorituksen tekemisessä on parempi, kun olosuhteet ovat optimaaliset. Siisteissä tehdasolosuhteissa työsuoritetta ympäröivät olosuhteet ovat kunnossa. Lisäksi omilla työntekijöillä tekeminen sekä tehtaalla että työmaalla johtavat siihen, että ei tule urakkarajapintoja. Lisäksi koko ketjun hallinta suunnittelun, tuotannon ja rakentamisen osalta johtaa siihen, että osaoptimointi jää pois. Osaoptimoinnin pois jääminen on suuri laatuparannus ja kustannusten kannalta oleellinen asia. (H6).

Rankarakenteisista tilaelementeistä pyritään tekemään alle 4 metriä leveitä. Kuljetuksen kannalta on tärkeää, että kuljetuskalusto on sopivaa. Rankarakenteiset tilaelementit ovat keveitä ja helppoja kuljettaa, mutta koko rajoittaa kuljettamista. Kokemukset Ruotsista näyttäisivät, että esimerkiksi nostoissa ei ole rankarakenteisissa tilaelementeissä tullut

hirveästi vaurioita. Rankarakenteisten tilaelementtien asennus on todella nopeaa. Rankarakenteisia tilaelementtejä asennetaan noin 3 moduulia tunnissa. Pistekerrostaloa saadaan nostettua jopa 2 kerrosta päivässä, jonka jälkeen nostetaan katto päälle. Katot on tehty lohkoista ja ne nostetaan lohkoissa työmaalla. Keskitystapit ja muut ohjaimet keskittävät tilaelementit kohdalleen, korjaavat linjat ja mahdollistavat tiiviyn pitämisen. Kun kerros elementtejä on paikallaan ja ovissa ja ikkunoissa on muovit valmiina, saadaan kerros lämpimäksi. Rakennus nousee rankarakenteisella tilaelementtijärjestelmällä nopeasti. Koska tilaelementtirakentaminen on nopeaa, tulee tarkalleen tietää, mitä kerroksittain tapahtuu tiettyinä päivinä. Rytmitys ja rytmityksen noudattaminen ovat tärkeitä asioita noudattaa tilaelementtirakentamisessa. (H6).

Rankarakenteisilla tilaelementeillä puukerrostaloa tehtäessä työympäristö ja työturvallisuus paranevat. Työmaalla ei tarvitse juurikaan käyttää väliaikaisia telineitä vaan esimerkiksi rappunousuihin nostetaan valmiina raput, joita pitkin voidaan nousta seuraavaan kerrokseen. Työmaan työympäristön ja tehokkuuden kannalta on myös tärkeää, että kulukuväylät ovat vapaana ja työmaa on siisti. Ruotsissa yhtiön osakkaalla on tyypillisesti ollut työmaalla 10 hengen asennusporukka sekä nosturikuski, kun on rakennettu puukerrostaloja rankarakenteisilla tilaelementeillä. Rankarakenteisista tilaelementeistä rakennettaessa ei käytetä erillisiä sääsuojia. Lohkoina olevat katot nostetaan aina päivän päätteeksi rakennuksen päälle. Koska erillisiä sääsuojia ei ole käytössä, niin sadeuhkaisina päivinä ei nosteta pitkälle esivalmistettuja rankarakenteisia tilaelementtejä. Kun käytössä on omat asentajat, voivat he tehdä sadepäivinä esimerkiksi sisävalmistustöitä, jos nostoja ei sateen vuoksi tehdä. Rankarakenteisista tilaelementeistä rakennettaessa sääsuojasta aiheutuvaa tyypillisesti noin 100 €/hum<sup>2</sup> kulua ei synny. Toisaalta pintojen suojaus on erittäin tärkeää, eikä valmiita pintoja saa sotkea, rikkoa tai kolhia. Työmaalta vaaditaan erityistä huolellisuutta, kun tilaelementit tulevat valmiilla pinnoilla työmaalle. (H6).

Rankarakenteisilla tilaelementeillä rakentaminen on normaalia rakentamista, mutta esivalmistuksen ansiosta työmaalla on vähemmän ihmisiä töissä ja työmaalla suoritettavia työvaiheita on vähemmän. Yhtiön osakkaan mallilla rakennettaessa rankarakenteista tilaelementeistä perinteiselle rakennusliikkeelle ei juurikaan jää roolia, sillä toiminta perustuu koko ketjun kokonaisvaltaiseen hallitsemiseen ja itse tekemiseen. Pitkälle suunnitelluista ja vakioiduista ratkaisuksista johtuen toteutuksessa ei ole erityisiä haasteita. Toteutus on helppo tehdä silloin, kun rakennus on alusta asti suunniteltu siten, että se voidaan tuottaa järkevästi, nostaa helposti sekä koota ja kiinnittää helposti. Arkkitehteillä ja suunnittelijoilla on omat manuaalit, selkeät ja ohjaavat suunnitteluohjeet sekä ymmärrys siitä, miten koko rakennus tuotetaan ja tehdään. Tällöin ei aiheudu ongelmia siitä, että suunnittelija tekee erilaisia päätöksiä ja suunnitelmia ja vasta työmaa mieltii, miten ne oikeasti toteutetaan. Yhtiön osakkaan mallissa suunnittelu, hankinnat, esivalmistus ja työmaatoimitus tehdään porukalla samassa talossa. Lisäksi asentajat ja muut työntekijät työskentelevät samassa talossa, jolloin yhteistoiminta paranee. Yksittäisiä työvirheitä voi tuki esiintyä, kun ihmiset tekevät töitä. Laatupoikkeamiin puuttuminen on kuitenkin helppoa, sillä

tuotannossa voidaan helposti selvittää työn tehnyt henkilö, antaa palautetta ja korjauttaa suoritus samalla henkilöllä. Pitkän kokemuksen pohjalta tuotannosta tiedetään, missä yleisimmät haasteet ovat ja miten ne paikannetaan ja hoidetaan. Kaikki rankarakenteisten tilaelementtien toimittajat eivät toimi samalla mallilla. Osa toimijoista valmistaa tilaelementit suunnitelmien mukaisesti, jonka jälkeen ne kuljetetaan työmaalle ja vasta työmaan vastuulla on asennus ja asennukseen liittyvät haasteet sekä niiden ratkaisu. (H6).

#### **4.11 Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä**

Rakennejärjestelmän valintaa varten pitää katsoa minkälainen on talon asuntojakauma ja asuntojen keskikoot. Jos halutaan avarat ja isot olohuoneet, niin voitaisiin miettiä, että tilaelementtirakentaminen ei ole järkevä ratkaisu. Tilaelementtirakentaminen johtaa tiettyllä tavalla laatikkomaisiin asuntoihin. Avarat olohuoneet voidaan toteuttaa sitten esimerkiksi suurelementeillä tai pilari-palkkijärjestelmällä. Jos talossa on paljon pieniä asuntoja ja toistoja, tilaelementit ovat järkevä ratkaisu. Toinen mietittävä asia on tilojen muuntojoustavuus. Tässä tapauksessa pilari-palkkijärjestelmä on muuntojoustavana kilpailukykyinen. Pilari-palkkijärjestelmässä seinien paikat eivät rajoita muuntojoustavuutta. Rakennejärjestelmät valinnassa tilaaja katsoo tarjontaa ja miettii myös, missä näkee parhaat kilpailutusmahdollisuudet. Olennaisessa asemassa on myös toimittajien valinta. Rakennejärjestelmän valintaan liittyy olennaisesti tekijän omat resurssit. Jos rakentamisessa käytetään omia miehiä, ei esivalmistusta kannata silloin valita. Teknisesti eri rakennejärjestelmien välillä ei ole juurikaan isoja eroja. Palotekniset ja äänitekniset asiat pystytään kaikilla järjestelmillä toteuttamaan. Puusta tehtäessä täytyy miettiä, löytyykö suunnittelija, tekijä, mitä puurakentaminen maksaa ja minkälaisia riskejä siihen liittyy. Myöskin rakennuksen jäykistys ja stabiliteetti ovat hankalia asioita ja niihin tulee kiinnittää huomiota. (H3).

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa merkittävästi se ensikontakti, jonka kanssa asiaa lähdetään viemään eteenpäin. Jokaisella toimijalla on tällä hetkellä oma ratkaisunsa, ja ratkaisupäätös tulee käytännössä ensikontaktin perusteella tehtyä. On selvää, että alan toimijat tarjoavat omaa ratkaisuaan. Valinta voi riippua siitä, kenen kanssa hanketta lähdetään kehittämään. Lisäksi rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa toki, mitä rakennejärjestelmä maksaa, mitä se saa maksaa ja missä tilaaja toimii. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla on eri hinnoittelu, kuin pääkaupunkiseudun ulkopuolella. (H7).

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat ennen kaikkea tilaajan oma osaaminen ja ymmärtäminen. Rakennejärjestelmän valinta riippuu myös siitä, mitä tilaaja on tekemässä. Jos tilaaja teettää esimerkiksi opiskelija-asuntoja, on selkeää, että huoneistot ovat pieniä ja niissä on paljon toistoa. Tällöin esimerkiksi tilaelementit voivat olla hyvä ratkaisu. Tilaelementit ovat myös pieniä ja ne pitäisi saada helposti toimitettua ja kuljetettua tällaisessa tapauksessa. Kohteen ominaispiirteet, kuten paljon toistoja ja pieniä asuntoja, ajavat järjestelmää tilaelementtien suuntaan. Jos tarvitaan arkkitehtonisia piirteitä tai pitkiä jännevälejä, voidaan melkein todeta, että tilaelementit eivät sovellu siihen. Tällöin kyseeseen

voi tulla esimerkiksi suurelementit tai pilari-palkkijärjestelmä. Lisäksi päätökseen vaikuttavat tarjoavan yrityksen tausta ja osaaminen, arkkitehdin näkemys ja rakennuttajan näkemys. Arkkitehdin valinnat, esimerkiksi CLT:n ja puupintojen näkyvyyden osalta saatetaan valita ratkaisun. Tällöin tulee väistämättä massiivipuiset suurelementit. Ensimmäisen kontaktin tärkeys korostuu. Lisäksi tilaajan aktiivisuus korostuu. Jos tarkemmin aletaan miettiä ympäristövaikutuksia ja niille annetaan iso arvo, saatetaan päätyä esimerkiksi valitsemaan massiivipuu. (H7).

## 4.12 Puukerrostalojen kustannustason arviointia

Iso osa kerrostaloista on toteutettu ja tehty vuokramarkkinoille. Tällöin käytössä on ollut usein ARA-hinnoittelu ja kohteet on tehty ARA:n hinnoitteluraamien sisällä. (H7). ARA-hintaisista hankkeista voidaan hakea kustannustiedolle pohjaa. Tyypillisesti ARA:n rahoitus on 3000-3300 € välillä per  $\text{hum}^2$ . Tärkeää on miettiä puurakentamisen kustannuksissa, millä tekijöillä se pieni ero betonirakentamiseen voitetaan. (H5). CLT-tilaelementtitekniikalla toteutettu 4-kerroksinen asuinkerrostalo, jossa kaikki kerrokset ovat puuta, toteutettiin hintaan 3000 €/kem<sup>2</sup>. Hankkeessa pysyttiin pääosin ARA-kustannusraamissa. Toistaiseksi puukerrostalorakentamisen hinta oli vielä hieman korkeampi kuin betonikerrostalossa. (H1). Haastateltavan H3 (2018) mukaan puukerrostalorakentaminen on noin 10% kalliimpaa kuin betonirakentaminen. Karkeasti, jos betonitalon rakentaminen maksaa 3000 €/asm<sup>2</sup>, niin puukerrostalorakentaminen maksaa 3300 €/asm<sup>2</sup>. Karkealla muistisäännöllä 100 € tulee suunnittelukustannuksista lisää ja 200 € tulee rakennusurakasta lisää. Sääsuojaus yksi iso kustannuselementti ja sprinklaus toinen. (H3).

Rankarakenteisilla tilaelementeillä päästään hyvin tekemään ARA-hintaista tuotantoa. Ruotsiin verrattuna kuitenkin Suomessa rakennuskustannukset ovat korkeammat. Esimerkiksi rakentamismääräyskokoelma aiheuttaa kustannuksissa eroja Suomen ja Ruotsin välillä. Kustannuksia Ruotsiin verrattuna aiheutuu esimerkiksi pakollisesta sprinklerijärjestelmästä, A-luokan vesilähteistä ja väestönsuojista. Ruotsissa puukerrostaloissa rakennuskustannukset ovat luokkaa 2500 €/hum<sup>2</sup> ja siihen pitäisi suomessakin päästä. Rankarakenteisilla tilaelementeillä on mahdollisuus päästä laadukkaaseen ja kustannustehokkaaseen samaan hintatasoon kuin betonitaloissa. Materiaalikustannukset ovat puukerrostalossa suuremmat, mutta toisaalta työn tehokkuus tehtaassa on parempi ja rakentaminen nopeampaa. Rankarakenteisten tilaelementtien osalta ainakin yhtiön osakasyrityksessä tiedetään kustannusten estimointi ja kustannusten toteutuminen tarkasti. (H6).

Tuotantokustannuksissa puhutaan CLT-tilaelementeistä toteutetuissa taloissa hieman korkeammista hinnoista kuin betonitaloissa. Toisaalta puukerrostalojakaan ei kuitenkaan tehdä tappiolla. (H2). Kokonaisuudessaan puurakentaminen kerrostalokohteissa on vielä todennäköisesti muutamia prosentteja arvokkaampaa kuin perinteiset ratkaisut. Hinnan yhteydessä on kuitenkin syytä miettiä, onko puurakentaminen laatutasoltaan samaa kuin betonirakentaminen vai jopa parempaa. (H7).



Kustannuksien näkökulmasta väliseinissä on suurimmat haasteet ja välipohjassa sen jälkeen. Välipohjien ja väliseinien määrä on asuinkerrostaloissa suurta. Haasteena on kustannusten kannalta usein rakenteiden osastointi. Osastoivan rakenteen yksikköhinta vaikuttaa paljon kokonaisuuteen. Asuinkerrostaloissa tulee huoneistoneliöille lisää hintaa verrattuna esimerkiksi kouluihin siitä syystä, että osastoivia rakenteita on paljon. Tuoteistusmaailmassa on myös haasteita. Hintaa voitaisiin hallita parhaiten sillä, että päästäisiin tarkempaan tekemiseen. Tärkeää olisi teknisen tehokkuuden maksimaalinen hyödyntäminen. Tarkka arvio ja siinä pysyminen mahdollistaa kustannustehokkuutta. (H5).

Hinta on täysin CLT-runkoisissa korkeampi kuin rankarakenteisissa ratkaisuisa, sillä CLT on materiaalina hinnakkaampaa. CLT-runkoisissa panoskustannus on suuri. Materiaalin määrä on iso asuinkerrostalorakentamisessa. Haastateltava H5 (2018) toteaa, että laskujen mukaan puukerrostaloissa yhdellä sahatavarakuutiolla saa 4–4,5 kem<sup>2</sup> rakennusta. Sahatavarakuutio maksaa alle 300 €. CLT-tilaelementtitalossa saadaan yhdellä CLT-kuutiolla rakennusta reilu 2 kem<sup>2</sup>. CLT-kuutio maksaa noin 600 €. Materiaalina siis CLT on merkittävästi kalliimpaa asuintalorakentamisessa. (H5). Kustannusten kannalta massiivipuussa on selvästi enemmän materiaalia kuin kevytrunkoisessa seinässä. Tilaelementissä haasteena on tuplaväliseinät, kun on kaksi seinää vastakkain. Toisaalta niissä voi olla parempi akustiikka, äänitekniikka ja paloturvallisuus. (H7). Haastateltavan H5 (2018) mukaan tilaelementit ovat tietyille asiakkaille olleet kustannuksiltaan turhan kalliita toteuttaa. Toimijoilla on halu tehdä tilaelementtikerrostaloja, mutta useasti lopulta hintamaailma ja talon soveltuvuus kyseiseen paikkaan puoltaa lopulta suurelementtiä. Haastateltavan H5 (2018) mukaan tällä hetkellä on tilaajia ja rakennusliikkeitä, jotka uskovat saavansa tilaelementeistä kustannushyötyjä. Toistaiseksi taloja tilaelementeistä on tehty aika vähän, eikä niistä ole niin paljon näyttöjä. Valinta tilaelementeistä on siis tehty jollain muulla perusteella kuin kustannuksien perusteella. (H5).

Puurakentamisen kustannuksia ei käytännössä välttämättä maksa aina rakennuttaja. Rakennuttaja maksaa kohteestaan sen mitä muistakin kohteistaan. Riskistä osan kantaa tuoteosatoimittaja, ja jos siltä osin projektin kustannukset ylittyvät, kantaa usein tuoteosatoimittaja nämä kustannukset. Puurakentamisen kustannuksia vertailtaessa tehdään yleensä hankalia olettamuksia. Esimerkiksi puuelementtiseinän vertailu betonielementtiseinään on haastavaa, sillä puuelementtiseinä voi olla valmis molemmilta puolin ja betoniseinässä vielä merkittävä määrä työvaiheita jäljellä. Esimerkiksi betonissa pitää vielä lisätä eristeet, julkisivut, hioa ja tasoittaa. (H7). Rakennejärjestelmätöimittajan näkökulmasta kustannukset riippuvat toimituksesta ja sen sisällöstä paljon. Hintaan vaikuttaa esimerkiksi se, sisältyykö asennus ja tuleeko kaikki rakennusosat vai onko toimitussisältö muuta. Samalla sisällölläkin kustannuksissa on noin 10% hajonta kohteittain. (H5).

#### 4.13 Haastattelututkimuksen yhteenveto

Haastatteluissa nousi esille, että useasti asuinpuukerrostalorakentamisessa on tavoitteena saada tuotua puu vaihtoehtona betonin rinnalle. Asuinpuukerrostalorakentamisesta seuraa

niin rakennuttajille, kuluttajille kuin asunnonostajillekin valinnan mahdollisuuksia sekä vaihtoehtoja. Rakennusyritysten näkökulmasta puukerrostalorakentamista ajaa eteenpäin mahdollisuus tuottavuuskehitykseen ja laadun parantamiseen teollisen esivalmistuksen ansiosta. Lisäksi puukerrostalorakentamiseen ryhtymällä on mahdollista hakea puukerrostalorakentamiselle kaavoitettuja tontteja. Puukerrostalorakentamista ajetaan eteenpäin myös valtiovallan toimesta ja lisäksi puukerrostalorakentamisella voidaan ottaa ekologisuus, ympäristöasiat sekä kestävä kehitys hyvin huomioon. Puukerrostalorakentamisella pyritään viemään eteenpäin niin puurakentamista kuin rakennusalaakin. Pitkälle viety suunnittelutyö, jota puukerrostalorakentaminen vaatii, mahdollistaa hyvin energiatehokkuusasioiden huomioon ottamisen. Ympäristöasioille ei välttämättä anneta päivittäisessä päätöksenteossa merkittävää painoarvoa, mutta silti puukerrostalorakentamisen ekologisuus, ympäristörasituksen vähäisyys sekä kestäväan kehitykseen liittyvät asiat nousevat haastattelutuloksissa esille puukerrostalorakentamisen hyvinä puolina.

Suurimpana puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijänä pidetään teollista esivalmistusta, jonka nähdään olevan kaikkien rakentamisen osapuolten kannalta hyvä asia. Erityisesti rakentamisen nopeus koetaan suureksi hyödyksi. Korkea esivalmistusaste ja teollinen esivalmistus mahdollistavat esimerkiksi rakentamisen tehostamisen, rakentamisen nopeuden, laadun parantamisen, hukan pienentämisen sekä paremman työturvallisuuden. Puuta rakennusmateriaalina pidetään lujana ja kevyenä ja lisäksi puurakentamisen mittatarkkuus ja pienet toleranssit nähdään hyötynä. Rakentamisen nopeuden ansiosta pääoman käyttö tehostuu, sillä rahat sitoutuvat lyhemmäksi aikaa ja lisäksi samoilla resursseilla pystytään tekemään enemmän tuotantoa. Toisaalta puukerrostalorakentamisen hyvien puolten hyödyntäminen vaatii erittäin hyviä projektinhallinnan tehokasta haltuun ottamista suunnittelun, tuotannon ja rakentamisen osalta. Projektointiin on syytä kiinnittää huomiota ja siinä tulee ottaa kohdekohtaiset rakennuksen piirteet huomioon.

Puukerrostalorakentamisen haasteiden osalta nousevat esiin mielipiteet, ennakkoluulot sekä mielikuvat puusta ja puukerrostalorakentamisesta. Haastatteluissa nousi esiin, että puukerrostalorakentamiseen liittyvistä haasteista on tunnuttu uutisoitavan enemmän kuin onnistuneista hankkeista. Toistaiseksi Suomessa puukerrostalorakentaminen on toisaalta ollut pitkälti yksittäisiä projekteja, eikä hankkeissa ole saavutettu vielä riittävästi toistoa, jotta puukerrostalorakentamiseen olisi syntynyt rutiineja ja harjaantumista. Haasteena on ollut puukerrostalorakentamisen projektien ja prosessien hallitsemattomuus. Tärkeää puukerrostalorakentamisen haasteiden ratkaisussa olisi se, että perusratkaisut saataisiin kuntoon, perustuotanto käyntiin ja jatkuvuutta tuotantoon. Perustuotannon kuntoon saaminen ja tuotannon jatkuvuus mahdollistaisivat kumulatiivisen oppimisen, jota ei ole juurikaan suomalaisessa puukerrostalorakentamisessa saavutettu.

Haasteena puukerrostalorakentamisessa on toimijoiden vähyys. Toimijoiden vähyys näkyy kokeneissa suunnittelijoissa, rakennuttajissa, rakentajissa kuin tuotannossakin. Lisäksi puukerrostalorakentamisesta puuttuvat yhteiset toimintajärjestelmät, eikä esimerkiksi RunkoPES ole tehokkaassa käytössä. Puukerrostalorakentamisen ympärille ei ole

vielä muodostunut selkeitä toimintamalleja ja toimintatapoja. Puukerrostalorakentamisen ekosysteemiä pidetään kehittymättömänä. Puukerrostalorakentamisesta ja puuelementtiteollisuudesta puuttuvat saman kaltaiset vuosisopimukset, jotka betonielementtiteollisuudessa ovat käytössä. Osaamisvajetta esiintyy kautta linjan. Suunnittelussa puurakentamiseen erikoistuneiden suunnittelijoiden vähyydestä johtuen nähdään ongelmana se, että suunnittelussa tapahtuu paljon ylimitoitusta, joka johtaa suurempiin kustannuksiin. Lisäksi puukerrostalojen suunnittelun ajallinen hallinta sekä suunnittelun suuremmat kustannukset, jotka johtuvat isommasta työmäärästä ovat olleet haasteena. Haasteena puukerrostalorakentamisessa ja sen ympärillä olevilla toimijoilla on se, että kustannustietous on puutteellista eikä kustannustietoa ole kattavasti saatavilla. Lisäksi pitkän aikavälin käyttö- ja ylläpitokustannusten osalta ei ole paljon kokemuksia. Toimijoiden vähyydestä johtuen puukerrostalorakentamisessa kilpailu on toistaiseksi vähäistä. Kilpailun vähäisyydestä, toimijoiden vähyydestä sekä yhteisten ratkaisujen ja toimintamallien puutteesta johtuen rakennusliikkeiden näkökulmasta kilpailuttaminen on haastavaa puukerrostalorakentamisessa. Toisaalta puurakentamisessa erityisesti uusissa toimijoissa on nähtävissä enemmän ja enemmän suuntaa, jossa rakennusyritykset tekevät omassa tuotannossa myös elementtien valmistuksen, hallitsevat suurempaa osaa rakentamisen ketjusta ja toteuttavat hankkeita KVR-urakkana.

Puukerrostalorakentamisessa teknisessä mielessä haasteina nähdään erityisesti ääniteknikka, palotekniikka, rakennusfysikaaliset asiat sekä liitostekniikka. Teknisten riskien taustalla on haastateltavien mukaan se, että ei ole juurikaan testattuja ja tyyppihyväksytyjä rakenteita. Puupintaa voi olla haastavaa saada näkyviin siitä syystä, että ääniteknikan takia väliseiniin ja välipohjiin täytyy tehdä rakenteita yhdistelemällä, jolloin puu jää piiloon. Lisäksi rakennustyömaan aikainen kosteudenhallinta sekä siitä aiheutuvat kustannukset nousevat esiin puukerrostalorakentamisen haasteista keskusteltaessa.

Puukerrostalorakentamisen kehityksen kannalta nähdään, että teollinen esivalmistus ottaa merkittävästi sijaa tulevaisuudessa. Puukerrostalorakentamisen nähdään menevän kohti kokonaisvaltaisempaa rakentamisen ketjun hallintaa. Puukerrostalorakentamisen nähdään kasvavan tulevaisuudessa suuremmaksi, mutta kysymykseksi jää edelleen, minkä-kokoinen markkina puukerrostalorakentaminen lopulta on suhteessa betonirakentamiseen. Puukerrostalorakentamisen määrän uskotaan kasvavan erityisesti ympäristöasioiden ja ekologisuuden huomioimisen kautta. Viime vuosina puukerrostalorakentamisen määrä on merkittävästi kasvanut ja toimijoita on tullut lisää. Haastateltavat kommentoivat myös kaikki olevansa mukana puukerrostalorakentamisessa jatkossakin.

Puukerrostalorakentamisen edistämiseksi tärkeänä asiana nähdään epätietoisuuden ja ennakkoluulojen hälventäminen sekä mielipidevaikuttaminen. Puukerrostalorakentamisen edistämiseksi osaamisvajeen paikkaaminen olisi tärkeää ja tähän vaaditaan lisää tuotantoa ja toistoa tuotannossa. Toisaalta myös rakennustuotteiden ja rakennejärjestelmien kehityksen nähdään vievän eteenpäin puurakentamista. Selkeiden ratkaisuiden hyötynä on myös se, että suunnittelutyö helpottuu. Toisaalta suunnitteluun on syytä varata riittävästi

aikaa puukerrostalorakennushankkeissa. Puukerrostalorakentamisen edistämiseksi olisi myös tärkeää, että puurakentamisen erityispiirteet huomioitaisiin kaavoituksessa sekä infrastruktuurin rakentamisessa. Yhteisten toimintajärjestelmien puute on ollut haasteena ja puukerrostalorakentamisen edistämiseksi tarvittaisiin enemmän yhteistyötä ja avoimuutta. Puukerrostalorakentamisen edistämiseksi rakennusala sekä rakennusalan käytäntöjä ja prosesseja tulisi kehittää otollisemmiksi puurakentamista ajatellen. Nyt toimintamallit ovat rakentuneet pitkälti betonirakentamisen käytännöille, mikä on haastavaa. Erittäin tärkeää puurakentamisen kehittymisen ja puukerrostalorakentamisen edistymisen kannalta olisi, että tehtäisiin tarpeeksi paljon selkeitä perustuotantoa, jotta puukerrostalorakentamisen prosesseihin saataisiin toistuvuutta ja saavutettaisiin oppimista.

Puukerrostalorakentamisessa kuten myös jokaisen rakennejärjestelmän kohdalla suurena etuna nähdään mahdollisuus hyödyntää teollista esivalmistusta. Rakennejärjestelmän valinnassa on hyvä ottaa huomioon se, että useat hyödyt puukerrostalorakentamisessa, kuten esimerkiksi rakentamisen nopeus perustuvat pitkälti teolliseen esivalmistukseen. Rakennejärjestelmän valinnassa kuten myös toimijoiden valinnassa olisi tärkeää löytää hyvät yhteistyökumppanit, joiden kanssa lähteä viemään hanketta eteenpäin. Tärkeää on myös, että eri osapuolten välillä on tarpeeksi selkeä vastuunjako. Yleisistä käytännöistä on syytä huolehtia hankkeessa.

Kokonaisuudessaan puukerrostalo kannattaa suunnitella tietyllä rakennejärjestelmälle alusta alkaen. Esimerkiksi tilaelementtien kanssa voi tulla ongelmia, mikäli taloa ei ole lähtökohtaisesti suunniteltu tilaelementtitekniikalla rakennettavaksi. Tärkeää on, että arkkitehdit ja suunnittelijat kiinnittävät huomiota siihen, miten rakennus olisi teollisesti järkevästi toteutettavissa. Rakennejärjestelmän valintaan helposti saattaa vaikuttaa se henkilö, jonka kanssa hanketta aletaan kehittämään. Isossa kuvassa rakennejärjestelmän valinnassa vaikuttaa paljon rakennuttajan sekä arkkitehdin näkemykset.

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa erityisesti tilaajan omat resurssit ja osaaminen. Rakennejärjestelmien valinnassa on saatettu myös valita rakennejärjestelmä, jossa on voitu nähdä eniten hyötyä ja suurin potentiaali. Mikäli rakennustyön aika ja elementtien asennusaika halutaan mahdollisimman lyhyeksi, vaikuttaa se rakennejärjestelmän valintaan. Lähtökohtaisesti kokonaisaika rakennushankkeessa ei kuitenkaan välttämättä lyhene. Toisaalta toimittajien määrä voi vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan, sillä rajallinen toimittajien määrä myös tarkoittaa sitä, että suuria kilpailutusmahdollisuuksia ei ole. Kilpailutusmahdollisuudet voivat vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan. Rakennejärjestelmät ovat pitkälti toimittajakohtaisia vielä. Toimittajien kokemus ja tausta voivat vaikuttaa rakennejärjestelmän valinnassa. Tärkeä tekijä rakennejärjestelmän valinnassa on se, että miten pitkälle teollista esivalmistusta halutaan hyödyntää. Jos rakennusliike rakentaa omilla työntekijöillä, ei silloin esivalmistusta välttämättä tarvita. Rakennejärjestelmän ja myös esivalmistuksen tason kohdalla tulee kiinnittää huomiota siihen, missä vaiheessa muutoksia vielä tehdään. Jos esimerkiksi asukasmuutoksia halutaan tehdä vielä viime hetkillä, vaikuttaa se olennaisesti esivalmistuksen tasoon.

Rakennejärjestelmän valintaan liittyvissä kysymyksissä nousevat esille erityisesti rakennuksen kerrosmäärä, huoneistojakauma, huoneistojen koot ja huoneistojen muoto, rakennuksen muoto ja kerroskorkeus. Rakennukselle kohdistuvat kuormat ja jäykistämiseen liittyvät asiat tulee huomioida rakennejärjestelmää valittaessa. Huoneistojakaumaan liittyen vaikuttaa myös se, että kuinka paljon huoneistoissa on toistoa. Lisäksi vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi jännevälit, aukot ja muut erilaiset erityisrakenteet. Rakennuksen pohjaratkaisun ollessa monimuotoinen, rajaa se pois rakennejärjestelmiä. Rakennejärjestelmän valintaan voi vaikuttaa myös visuaaliset arkkitehtoniset ratkaisut, kuten esimerkiksi se, että halutaanko jättää puuta näkyväksi pinnaksi. Mahdollinen muuntojoustavuuden tarve vaikuttaa rakennejärjestelmän valinnassa. Erittäin selkeät pohjaratkaisut ovat periaatteessa kaikilla rakennejärjestelmillä helppoja tehdä. Palotekniset ja äänitekniset asiat pystytään toteuttamaan kaikilla rakennejärjestelmillä. Tontin muoto ja sijainti voi vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan. Mikäli rakentaminen tapahtuu ahtaalla tontilla esimerkiksi kaupungissa, voi valintaan vaikuttaa myös varastointimahdollisuudet sekä logistiikan järjestäminen.

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa myös hinta. Puukerrostalorakentamisessa tiettyjen rakennusosien yksikköhinta vaikuttaa paljon. Esimerkiksi välipohjaa ja väliseinää on määrällisesti paljon, joten näiden rakennusosien hintakin vaikuttaa koko rakennuksen hintaan merkittävästi. Väliseinissä ja välipohjissa on puurakenteisissa taloissa useita rakennekerroksia. Vertailtaessa rakennusosakohtaisia hintoja esimerkiksi betonirakentamiseen on tärkeä muistaa se, että esivalmistetuissa puisissa rakennusosissa voi olla valmiit pinnat molemmiin puolin, kun esimerkiksi betonielementissä on vielä paljon työtä jäljellä ennen valmista pintaa. Asuinkerrostaloissa näiden osastoivien rakennusosien määrä on suuri ja siksi niiden hinta on merkityksellinen. Rakennejärjestelmätoimitusten hintaan vaikuttaa olennaisesti toimituksen sisältö. Puukerrostaloissa materiaalikustannusten todetaan olevan hieman korkeammat kuin betonirakentamisessa, mutta toisaalta työn tehokkuus ja rakentamisen nopeus vaikuttavat madaltavasti kustannuksiin. Puukerrostalorakentamisen hinnan todetaan haastattelutulosten perusteella olevan noin 10% kalliimpaa kuin betonirakentamisen. Suurimmat kustannuserät puukerrostalorakentamisessa verrattuna betonirakentamiseen aiheutuvat sääsuojaamisesta, pakollisesta sprinklauksesta sekä suuremmista suunnittelukustannuksista, sillä suunnittelutyötä on enemmän ja se pitää viedä pidemmälle. Puukerrostalojen kustannusten osalta kävi ilmi, että puukerrostalotuotantoa on toteutettu ARA:n kustannusraamiin, eli noin 3000–3300 €/asm<sup>2</sup>.

Massiivipuuelementit ovat hyvin mittatarkkoja. Lisäksi massiivipuulla on hyötynä hyvä lujuus suhteessa keveyteen. Massiivipuut ovat lähes yhtä lujaa kuin perusbetonit, mutta painavat vain viidesosan betonin painosta. Massiivipuisten suurelementtien esitetään tulevan kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi rankarakentamiseen verrattuna, kun kerrosten lukumäärä ylittää 5 kerrosta. Lisäksi massiivipuilla suurelementeillä onnistuu jäykistäminen helpommin. Massiivipuisten suurelementtien kohdalla vaaka-asenteisilla levyillä le-

vyn korkeus määrää kerroskorkeuden rakennuksessa. Pystysuuntaisesti asennetuilla massiivipuulementeillä pystytään saamaan lisää vapauksia kerroskorkeuteen. Massiivipuilla suurelementeillä päästään noin 6 metrin jänneväleihin asti.

Mikäli rakennetaan CLT:stä, tulee arkkitehdin sekä suunnittelijan ymmärtää toteutus sekä tehtaalla, että työmaalla. Väliseinien paksuus kannattaa piirtää tarpeeksi paksuksi suunnittelun alusta alkaen. Suunnittelijoiden on ymmärrettävä työstökeskuksen rajoitteet, jotta elementit olisivat kustannustehokkaasti tuotettavissa ja ylipäättään mahdollisia valmistaa. Massiivipuisia suurelementtejä pystytään esivalmistamaan jonkin verran. Aukot sekä asennustilat voidaan työstää tehtaalla ja lisäksi elementteihin voidaan asentaa valmiiksi esimerkiksi ikkunat ja eristeet.

Massiivipuisiin elementteihin voidaan tehdä aukkoja ja ulokkeita vapaammin kuin tilaelementteihin tai rankarakenteisiin elementteihin. Suuria aukkoja voidaan toteuttaa myös käyttämällä niillä kohdin pilari-palkkirakennetta. Massiivipuulementeillä voidaan jättää puupintaa helposti näkyviin, mikä taas kipsilevypintaissa rankarakenteisissa ratkaisuissa ei onnistu. Toisaalta näkyvien pintojen haasteena on esimerkiksi kosteuseläminen ja halkeilu, jotka voivat häiritä asukkaita, vaikka ovatkin pääasiassa kosmeettista vaivaa.

Käyttämällä sääsuojaa tai siitä hetkestä, kun rakennuksessa on vesikatto päällä, voidaan massiivipuilla elementeillä alkaa sisävalmistusvaiheeseen. Sääsuojaukseen voidaan käyttää monia eri tapoja, mutta toisaalta massiivipuulementeillä rakennettaessa sääsuojaus ei ole pakollista, jos kohteessa on hyvä kosteudenhallintasuunnitelma. Massiivipuilla suurelementeillä logistiikan järjestäminen on helpohkoa, sillä elementit ovat kevyitä ja niitä voidaan kuljettaa helposti paljon kerrallaan. Keveyden ansiosta myös työmaalla tehtävissä nostoissa voidaan myös käyttää kevyttä nostokalustoa, kuten autonosturia. Lisäksi puurakentamisen etuna on työympäristön miellyttävyys asentajille. Massiivipuulementit ovat hyvin mittatarkkoja, joten esimerkiksi rajapinnoissa betonin kanssa tulee kiinnittää erityistä huomiota betonipintojen toleransseihin. Haasteena massiivipuulementeissä on se, että asennusliikkeillä ei ole rutiinia massiivipuisten suurelementtien asennuksesta. Saatavuus voi tulla haasteeksi, jos tarvitaan suuri määrä tuotteita. Massiivipuiset ratkaisut ovat hinnaltansa kalliimpia kuin rankarakenteiset ratkaisut.

Rankarakenteisilla suurelementeillä saadaan tehtyä erittäin suuria elementtejä. Keveyden ansiosta kuljetus onnistuu hyvin, mutta kuljetuksia voi rajoittaa elementtien suuri koko ja pituus. Rankarakenteiset suurelementit eivät aseta merkittäviä rajoitteita arkkitehtuuriin. Rakennuksen monimuotoisuuskään ei vaikuta hintaan mahdottomasti. Toisaalta selkeä ja suoraviivainen pohjaratkaisu helpottaa tekemistä. Rankarakenteisten suurelementtien tuotannosta johtuen pystytään tekemään monimuotoisia rakennuksia. Rankarakenteisten suurelementtien osalta tavallinen huonekorkeus on 2,6 metriä. Kerroskorkeudessa pystytään toisaalta menemään jopa 4 metriin asti, joten rankarakenteiset suurelementit antavat kerroskorkeuden suhteen vapauksia. Rankarakenteisilla suurelementeillä voidaan päästä jopa yli 7 metrin jänneväleihin.

Rankarakenteisten suurelementtien esivalmistus onnistuu pitkälle. Aukot sekä asennustilat voidaan työstää tehtaalla ja lisäksi elementteihin voidaan asentaa valmiiksi esimerkiksi ikkunat, eristeet ja ulkoverhous, heloitukset sekä tiivistykset ja listoitukset. Toisaalta pitkälle esivalmistettujen elementtien kanssa on syytä olla varovainen, sillä valmiit pinnat ovat alttiita vaurioille. Mitä pidemmälle tuotetta halutaan esivalmistaa, sitä pidemmälle kohdetta täytyy suunnitella. Rankarakenteiset suurelementit vievät vähemmän tilaa varastoinnissa kuin esimerkiksi tilaelementit. Rankarakenteisten suurelementtien asennusaika on noin kerros per porrashuone viikossa, joka on hyvin lähellä betonirakentamisen aikoja. Toisaalta pitkälle viedyn teollisen esivalmistuksen ansiosta pitkä aika odottelua jää pois muiden töiden osalta. Tärkeä asia rankarakenteisissa suurelementeissä on huolellinen sääsuojaus. Sääsuojassa rankarakenteisilla suurelementeillä rakentaminen on häiriövapaata. Sääsuojaa voidaan hyödyntää täysimääräisesti esimerkiksi laittamalla sääsuojaan siltanosturi. Rankarakenteisiä suurelementtejä pidetään kustannuksiltaan edullisempänä kuin esimerkiksi massiivipuuelementtejä.

Jäykistys rankarakenteisissa suurelementeissä tapahtuu yleensä levyjäykistysenä. Tavanomaisissa kohteissa erillistä jäykistysrakennetta ei tarvitse välttämättä tehdä. Toisaalta rankarakenteiset suurelementit ovat haasteissa, jos pienellä pohjapinta-alalla on korkea talo. Tällöin jäykistyksessä tulee käyttää esimerkiksi LVL:ää apuna. Lisäksi pistetaloissa on haasteena pistekuormien kestävyys ja leimapaine. Rankarakenteisilla ratkaisuilla voidaan päästää puuosiltaan 8-kerroksiseen tuotantoon. Yli 8-kerroksisessa tuotannossa toimii taas massiivipuuiset ratkaisut.

Kun huoneistossa on paljon toistoa ja huoneistojen keskikoko on pienehkö, niin tilaelementit ovat järkevä ratkaisu. Tilaelementein on mahdollista viedä teollinen esivalmistus kaikista pisimmälle ja tehdä suurempia kokonaisuuksia kerralla valmiiksi. Tilaelementeillä saadaan asuntoja käytännössä sisäpinnoiltaan täysin valmiina toimitettua.

CLT-Tilaelementeissä monimuotoiset rakennukset vaikeuttavat merkittävästi toimintaa ja tilaelementtien kustannustehokkuus katoaa. CLT-tilaelementtien taustalla on erityisesti nähty potentiaalia, esimerkiksi sen takia, että CLT-tilaelementtitekniikalla teollinen esivalmistusaste voidaan saada kaikista pisimmälle. Haasteena on ollut mittojen soveltuvuus ja arkkitehtisuunnittelun tehokkuus. Suunnittelussa arkkitehdin sekä rakennesuunnittelijan tulee huomioida se, että talo aiotaan toteuttaa tilaelementtejä käyttämällä. Talon on oltava järkevästi toteutettavissa teollisesti. Kun tilaelementtien osalta toteutetaan tehokasta suunnittelua, on mahdollisuus käyttää tilaelementtien tilat hyvin ja tehokkaasti.

CLT-tilaelementtien osalta LVI-tekniikka tulee suunnitteluttaa ja miettiä tilaelementtitekniikkaan sopivaksi. Haasteena ovat samat kostustekniikka ja äänitekniikka, kuten muussakin puurakentamisessa. CLT-tilaelementtitekniikkaa pidetään rakenteen kannalta hyvänä. Ne toimivat hyvin kantavina rakenteina ja lisäksi ne jäykistävät hyvin. Kuten edellä mainittiin, niin näkyviin jäävä pinta on sekä hyöty että haaste CLT:llä. CLT:llä

pintaa voidaan jättää näkyviin. Toisaalta levyn pinnan jäädessä näkyviin on haasteena kosteusmuutoksista aiheutuvat halkeamat. Lisäksi pintojen varjelu työn aikana korostuu.

CLT-tilaelementtejä käytettäessä teollisen esivalmistuksen ansiosta työmaalla vietetty aika lyhenee perinteisestä rakentamisesta reilusti, kuhan elementit on toimitettu mahdollisimman valmiina. Haastavaa CLT-tilaelementeissä on tilaaminen sekä urakkarajojen ja sopimusten tarkka määrittely. Toimijoiden vähyydestä johtuen myös kilpailutusmahdollisuuksia on vähän. CLT-tilaelementeillä on pystytty nostamaan rakennusta jopa kerros viikossa. Viikon jälkeen on valmiina asunnoissa kalusteet, lattiapinnat ja LVI-tekniikka. CLT-tilaelementeillä rakennettaessa rakentaminen on nopeaa. Toisaalta esivalmistuksen asteen suhteen on tärkeää miettiä, milloin asuntoja myydään ja milloin asukasmuutokset otetaan vastaan. Muutokset siinä vaiheessa, kun tilaelementit ovat jo tuotannossa voivat aiheuttaa haasteita ja hidastuksia. Valmistusketju häiriintyy muutoksista. Korkea esivalmistusaste CLT-tilaelementeissä johtaa työmaan näkökulmasta siihen, että hallittavia osia ja tekijöitä on vähemmän. CLT-tilaelementeillä rakennettaessa mittatarkkuus on tärkeä asia. Rakennuksen suoruudesta on varmistuttava ja toleransseihin on kiinnitettävä huomiota. CLT-tilaelementeillä rakennettaessa nostokaluston on oltava järeätä. Suuret massiivipuiset tilaelementit ovat hyvin painavia. Lisäksi suuren koon takia kuljetus, logistiikka ja varastointi on suunniteltava ja niihin tulee kiinnittää huomiota. Kuljetukset ja CLT-tilaelementtien paino aiheuttaa rajoitteita tilaelementin koolle. Kokorajoitteista johtuen suuret jännevälit ja suuret avonaiset tilat vaikuttavat olennaisesti siihen, voidaanko tilaelementtejä valita rakennejärjestelmäksi. CLT-tilaelementit eivät välttämättä ole kustannustehokkain vaihtoehto puukerrostalojen rakentamiseen.

Rankarakenteisilla tilaelementeillä pystytään rakentamaan puuosiltaan 8-kerroksisia rakennuksia, mutta sen korkeammissa ne eivät toimi enää kovin hyvin. Rankarakenteisissa tilaelementeissä puuta ei voida juurikaan jättää näkyviin, vaan ainoa mahdollisuus on, että katto on näkyvää puuta. Etuna rankarakenteisissa tilaelementeissä on pitkälle viety esivalmistus. Pinnat, sekä keittiö ja kalusteet ovat täysin valmiita ja elementeissä on myös kylpyhuoneet sisällä. Pintojen suojele rakennustyön aikana on erittäin tärkeää. Rankarakenteisilla tilaelementeillä rakennettaessa ei käytetä erillisiä sääsuojia, vaan katot nostetaan rakennuksen päälle. Haasteena on se, että sadeuhkaisina päivinä tilaelementtejä ei nosteta lainkaan. Rankarakenteisten tilaelementtien leveys pyritään pitämään alle 4 metrissä ja se rajoittaa tilaelementin kokoa. Rankarakenteisissa tilaelementeissä esimerkiksi suurien ikkuna-aukkojen tekeminen on haastavampaa kuin massiivipuulla tehtäessä. Rankarakenteisilla tilaelementeillä rakentaminen on erittäin nopeaa ja rakennusta voidaan parhaillaan nostaa jopa 2 kerrosta päivässä. Rankarakenteisten tilaelementtien kustannusten kerrotaan olevan pienemmät kuin CLT-tilaelementtien.

Pilari-palkkijärjestelmä mahdollistaa muuntojoustavuuden paremmin kuin muut rakennejärjestelmät. Haastattelujen pohjalta kävi ilmi, että tällä hetkellä pilari-palkkijärjestelmää puukerrostaloihin toteuttavia toimittajia ei oikeastaan ole, vaikka puisia pilareita ja palkkeja valmistetaankin.



## **5. ASUNTOKONSEPTIN VAIKUTUS PUUKERROSTALON RAKENNEJÄRJESTELMÄN VALINTAAN KOHDEYRITYKSESSÄ**

### **5.1 Puukerrostalon rakennejärjestelmän valinnan kriteerit**

Tiivistettynä puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat toteutettavan kohteen erityispiirteet. Erityisesti on mietittävä rakennuksen muoto, huoneistojakauma, huoneistojen keskikoot, huoneistojen muoto ja huoneistojen toistuvuus. Lisäksi merkityksellisiä asioita ovat rakennuksen mitat, jännevälit, kerrosmäärä, kerroskorkeus ja huonekorkeus. Valinnan taustalla vaikuttaa myös se, halutaanko puuta jättää näkyviin.

Rakennejärjestelmän valinnassa vaikuttaa haluttu esivalmistusaste. Teollista esivalmistusta voidaan viedä kaikista pisimmälle tilaelementtitekniikalla. Esivalmistusasteeseen vaikuttaa haluttu rakennusaika. Lisäksi esivalmistusasteeseen ja sitä kautta rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat rakentajan omat resurssit, erityisesti onko rakennusliikkeellä omia asentajia vai ei. Rakentajan resurssit ja aikataulu vaikuttavat osaltaan järkevään esivalmistuksen asteeseen ja tapaan rakentaa puukerrostalo.

Työmaan ja tontin ominaisuudet vaikuttavat rakennejärjestelmän valintaan. Niiden osalta rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa mahdollisuus järjestää nostot, logistiikka sekä varastointi. Lisäksi on pohdittava mahdolliset puukerrostalojen rakennejärjestelmien toimittajat ja kilpailutusmahdollisuudet. Rakennejärjestelmän valintaan voi vaikuttaa myös rakennejärjestelmän hinta.

### **5.2 Kohdeyrityksen asuntokonseptin esittely**

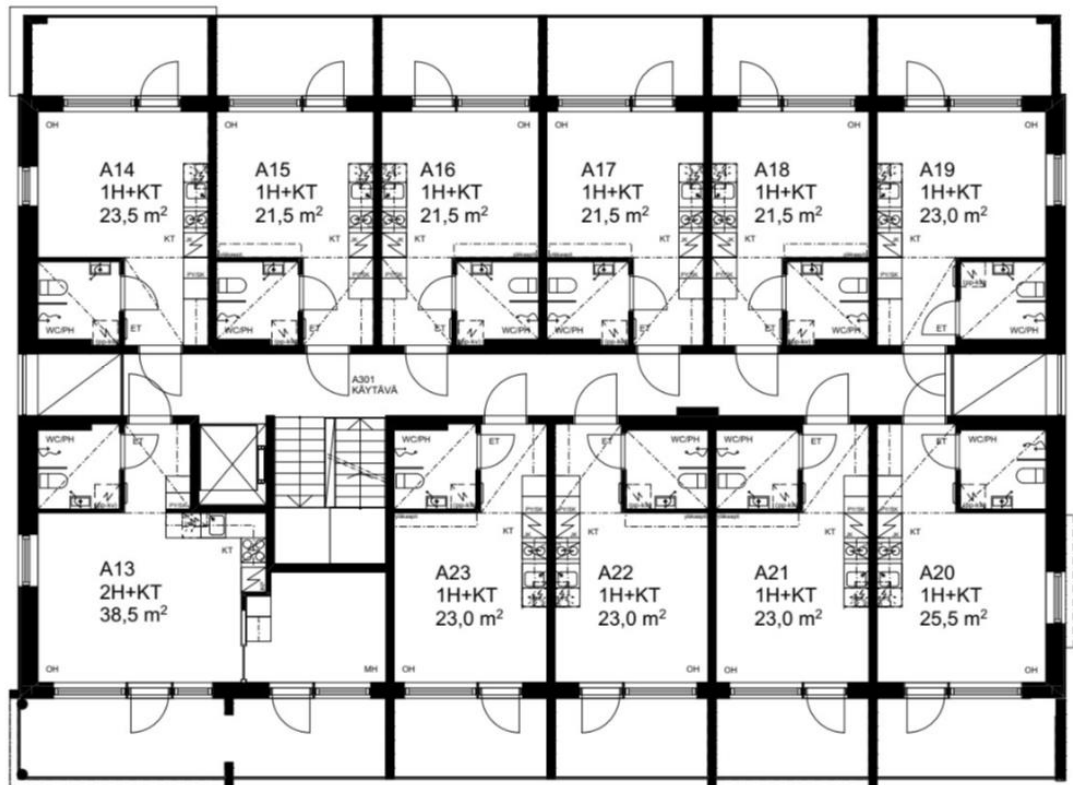
Tutkimuksen aikana hankitun tiedon pohjalta on selvitetty ja esitelty niitä tekijöitä ja asioita, jotka vaikuttavat rakennejärjestelmän valintaan ja toteutukseen. Hankittua tietoa hyödyntäen selvitetään ja näytetään esimerkinomaisesti kohdeyrityksen tuotannosta olevalla kerrostalolla, mitkä tekijät vaikuttavat ja miten ne vaikuttavat puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan. Kohdeyritys tekee Pirkanmaalla omaperusteista asuntotuotantoa. Tavoitteena ja tuotoksena on esitellä sellainen rakennejärjestelmä, joka sopii kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisen talon rakentamiseen. Luvussa esitellään kohdeyrityksen tuotteistettu asuntokonsepti sekä käytetään esimerkkinä kohdeyrityksen tyypillisen kerrostalon pohjapiirustusta.

Kohdeyrityksen asuntokonseptin mukaisessa asunnossa on tietyt ominaisuudet, jotka tekevät siitä omanlaisensa. Asunnossa on isot ikkunat. Isoilla ikkunoilla tarkoitetaan ikku-

naa, jonka ikkunakorkeus on tyypillisesti 2400 mm. Asunnossa on asunnon levyinen parveke tai terassi. Koko asunnossa on lattialämmitys. Asunnossa on tavallista kerrostalotuotantoa hieman korkeampi huonekorkeus. Huonekorkeus on 2850 mm. Asunnossa on yhtenäiset keittiö- ja oleskelutilat. Kuvassa 13 on esitelty tyypillistä tuotantoa olevan kerrostalon yhden kerroksen pohjakuva.

### 5.3 Tyypitalon pohjan esittely

Kuvassa 13 on kohdeyrityksen tulevaa tuotantoa olevan esimerkkikohteen kerrospohjapiirustus, kerroksesta 3. Esimerkkikohteen pohjapiirustus noudattelee pitkälti kohdeyrityksen tyypillistä tuotantoa ja sopii tässä tutkimuksessa tyypitaloksi ja esimerkkikohteeksi. Esimerkkikohteen kerrospohjapiirustusta voidaan siis käyttää hyvin esimerkkinä, kun selvitetään mahdollisuutta rakentaa puukerrostalo. Rakennus on 8-kerroksinen asuin-kerrostalo. On syytä huomioida, että esimerkkikohte on todellisuudessa suunniteltu betonirakenteisena ja tullaan myös toteuttaman betonirakenteisena.



**Kuva 13.** Esimerkkikohteen kerrospohjapiirustus, kerros 3 (T2H Pirkanmaa Oy 2018).

Talo on keskikäytävällinen yksirappuinen asuin-kerrostalo. Keskikäytävän molemmilla puolilla on asuntoja. Rakennuksessa on myös hissi. Asunnot ovat kooltansa 21,5–38,5 m<sup>2</sup>, mutta pienempiä 21,5 m<sup>2</sup> sekä 23,0 m<sup>2</sup> asuntoja on eniten. Kerrostalon pohjapiirustus pysyy suurin piirtein samanlaisena kerroksissa. Kolmessa ylimmissä kerroksissa on lisäksi yksittäisiä isompia asuntoja. Kuudennessa ja seitsemännessä kerroksessa on

49,5 m<sup>2</sup> kokoiset asunnot. Kahdeksannessa kerroksessa huonekorkeutta on lähes 4 metriä, asunnoissa on parvet ja kerroksessa on yksi 67,5 m<sup>2</sup> kokoinen asunto.

Asunnoissa on kaikissa yhtenäinen olohuone-keittiöyhdistelmä. Asunnoissa on saunattomat pesuhuoneet. Kaikissa asunnoissa on huoneiston levyiset parvekkeet. Parvekkeet on toteutettu pielirakenteilla. Asunnoissa on koko asunnon kattava lattialämmitys. Asunnon huonekorkeus on 2850 mm. Ikkunat ovat 2400 mm korkeita. Kuten kuvasta nähdään, on esimerkkikohteessa keittiöt sijoitettu pääasiassa huoneistojen välisiä seiniä vasten, erilleen kylpyhuoneista.

Kuten kuvasta 13 nähdään, asuntokuvauma talossa painottuu pienempiin asuntoihin. Asunnoissa on lisäksi hyvin paljon toistoa kerroksesta toiseen. Kuvasta 14 voidaan nähdä, että rakennus on ulkomuodoltansa selkeä suorakaiteen muotoinen.



**Kuva 14.** Esimerkkikohteen asemapiirustus (T2H Pirkanmaa Oy 2018).

Esimerkkikohde rakennetaan Tampereelle Perkkoonpuistoon. Kuten kuvasta 14 voidaan nähdä, päästään tontille ajamaan helposti. Tontilla on lisäksi mahdollista järjestää varastointitilaa.

## 5.4 Kohdeyrityksen tyyppitalon rakennejärjestelmän valinta

Esimerkkikohde on 8-kerroksinen. 8-kerroksisessa talossa voidaan periaatteessa hyödyntää niin massiivipuisia kuin rankarakenteisia ratkaisuita. Toisaalta rakennuksen ulkomuoto ja kerrospohja mahdollistavat tilaelementtien ja suurelementtien käyttämisen.

Kerrosmäärän ollessa lähellä kahdeksaa, ohjautuu valinta kohti CLT:tä, sillä CLT:n avulla esimerkiksi jäykistys onnistuu helpommin, eikä synny niin suuria painumia. CLT on lujempaa ja muotonsapitävämpää verrattuna rankarakenteisiin. Massiivipuun edut esimerkiksi jäykistyksen osalta alkavat näkyä jo 5 kerroksen jälkeen. Mikäli kohde olisi ollut matalampi esimerkiksi 4-kerroksinen, olisi valinta kerrosmäärän kannalta ohjautunut kohti edullisempia rankarakenteita.

Huonekorkeus vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan. Rankarakenteisissa perus huonekorkeus on 2,6 metriä. Toisaalta myös rankarakenteillakin voidaan päästä 4 metrin kerroskorkeuteen. CLT-levyjen mitat taas rajaavat kerroskorkeutta massiivipuiseissa rakennejärjestelmässä. CLT-levyjen mitat vaihtelevat toimittajittain ja CLT:tä käytettäessä tulee kuitenkin toimittajan valintaan kiinnittää huomiota, jotta CLT-levy riittää riittävään huonekorkeuteen, joka on 2850 mm. Esimerkiksi luvussa 3.4 esiteltujen toimittajien joukosta löytyy riittävän kokoista CLT-levyä. Luvussa 3.4 esiteltujen toimittajien CLT-levyjen mitat leveyden osalta vaihtelevat välillä 2,95–3,5m.

Massiivipuulla todetaan pystyttävän tekemään helpommin isoja aukkoja, kuin rankarakenteilla. Tässä kohtaa myös isot ja 2400 mm korkeat ikkunat ohjaavat kohti massiivipuun valintaa. Toisaalta isojen ikkunoiden kohta voitaisiin toteuttaa myös pilari-palkkirakenteena. Mikäli puuta halutaan jättää näkyviin, onnistuu se helpommin massiivipuulla.

Työmaan tontti on suurehko ja siellä on mahdollista järjestää selkeät kulkureitit logistiikan kannalta. Tontti ja siellä rakentaminen ei tässä tapauksessa vaikuta rakennejärjestelmän valintaan pois rajaavasti. Tontilla on mahdollista tilan ansiosta järjestää myös varastointia, sekä tontille mahtuu nostokalustoksi esimerkiksi torninosturi. Tontin muoto ja ominaisuudet antavat siis mahdollisuuden käyttää suurelementtejä ja tilaelementtejä.

Rakennuksen ulkomuoto on selkeä suorakaiteen muotoinen. Rakennuksen ulkomuoto ei ole monimuotoinen, joten se ei rajaa tilaelementtejä pois käytöstä. Rakennuksen ulkomuodon perusteella se on toteutettavissa niin suurelementeillä kuin tilaelementeilläkin.

Muutamit isommat asunnot esimerkkikohteessa eivät ole ongelma, vaikka käytettäisiin tilaelementtejä. Tilaelementissä voi olla esivalmistettu joko yksi kokonainen asunto tai ison asunnon puolikas. Isommat asunnot voidaan koota esimerkiksi kahdesta tilaelementistä. Esimerkkikohteessa on ylimmässä kerroksessa huoneistoja, joiden huonekorkeus on lähes 4 metriä. Pystysuuntaisesti asennetuilla massiivipuuelementeillä saadaan enemmän vapauksia kerroskorkeuden suhteen. Näiden ylimmän kerroksen korkeiden huoneistojen

kohdalla voidaan käyttää esimerkiksi pystysuuntaisesti asennettuja massiivipuuelementtejä.

Huoneistojakauma, huoneistojen koot, huoneistojen muoto ja huoneistojen toistuvuus vaikuttavat rakennejärjestelmän valintaan. Esimerkkikohteessa huoneistoissa on paljon toistuvuutta kerroksesta toiseen ja huoneistojakauma painottuu suurimmaksi osaksi pienempiin yksiiöihin. Suuri toistuvuus huoneistoissa sekä huoneistojakauma, joka keskittyy pääasiassa pieniin yksiiöihin ohjaavat valintaa tilaelementtien suuntaan. Lisäksi huoneistojen muodot ovat pääasiassa selkeitä suorakulmion muotoisia, joten huoneistojen muotoakaan ei rajaa pois tilaelementtien käyttöä. Huoneistojen koot ovat pääasiassa pieniä ja huoneistojen välisiä väliseiniä on tiheästi. Talossa on lyhyet jännevälit. Tilaelementtien moduulikoko on maksimissaan 12m x 4,2m x 3,2 m, mikä mahdollistaisi kerrospohjapiirustuksen mukaisten huoneistojen rakentamisen.

Rakentajan omat resurssit voivat vaikuttaa rakennejärjestelmän valintaan. Mikäli rakentajalla on omia asentajia, ei välttämättä kannata käyttää tilaelementtejä, sillä niissä valmistustyö tehdään käytännössä kokonaisuudessaan tehtaalla. Kohdeyrityksellä ei ole omia asentajia, vaan rakennustyömailla on vain työnjohto. Tämä ohjaisi rakennejärjestelmän valinnassa kohti tilaelementtejä, joiden avulla teollista esivalmistusta voitaisiin hyödyntää mahdollisimman pitkälle. Toisaalta esivalmistuksen yhteydessä on mietittävä asukasmuutosten ajankohta tarkkaan, sillä muutokset ovat hankalia siinä vaiheessa, kun tilaelementit ovat jo tuotannossa. Lisäksi mikäli rakennustyömaalla käytetty aika halutaan mahdollisimman lyhyeksi, ohjautuu valinta kohti pitkälle esivalmistettuja tilaelementtejä.

Toimittajiin, toimittajien määrään ja kilpailutusmahdollisuuksiin ei tämän tutkimuksen pohjalta pystytä ottamaan tarpeeksi kantaa. Todellisuudessa toimittajien kokemus, määrä ja kilpailutusmahdollisuudet sekä rakennejärjestelmän hinta vaikuttaisivat myös rakennejärjestelmän valintaan.

Parvekkeiden osalta kannattaa huomioida, että parvekkeiden kiinnittäminen CLT-tilaelementteihin on haastavaa. Huoneistojen levyiset parvekkeet tehdään pielirakenteisina erilliskannatettuina parvekkeina. Lattialämmitys voidaan toteuttaa myös puukerrostaloissa, eikä sillä ole merkittävää vaikutusta rakennejärjestelmän valinnassa.

Esimerkkinä käytetyn tyyppitalon pohjalta tehdyn pohdinnan tuloksena esimerkkikohteen kaltaisen puukerrostalon rakennejärjestelmäksi ehdotetaan kohdeyritykselle CLT-tilaelementtejä. Ehdotuksen taustalla erityisesti vaikuttivat rakennuksen kerrosmäärä, rakennuksen muoto, huonekorkeus, huoneistojakauma, huoneistojen toistuvuus, huoneistojen muoto, rakentajan omat resurssit ja tontin ja työmaan ominaisuudet.

## 6. POHDINTA JA TULOSTEN ARVIOINTI

### 6.1 Pohdinta ja tulosten arviointi

Yhteneväsyyksiä haastattelujen sekä kirjallisuuden osalta löytyi useita. Lähes kaikissa haastatteluissa kuten kirjallisuudessaakin nousee esille erityisesti teollisen esivalmistuksen hyödyt monessa eri suhteessa. Teollisen esivalmistuksen nähdään nopeuttavan rakentamisvaihetta, parantavan laatua ja mahdollistavan rakennusprosessin muuttamisen tehokkaammaksi. Puurakentamisen ekologisuus, ympäristörasituksen vähäisyys sekä kestävään kehitykseen liittyvät asiat nousevat kirjallisuudessa ja haastattelutuloksissa toistuvasti esille puukerrostalorakentamisen hyvinä puolina. Kirjallisuudessa puukerrostalorakentamisen todetaan useasti olevan huomattavasti nopeampaa kuin perinteisen rakentamisen. Haastatteluissakin on todettu useaan otteeseen puukerrostalorakentamisen mahdollistavan nopean työmaavaiheen. Toisaalta haastattelujen pohjalta kävi myös ilmi, että kaikissa kohteissa ei ole pystytty todentamaan rakentamisen nopeutta. Rakennushankkeen kokonaisaika pysyy lähes samana, sillä suunnittelutyöhön ja valmistukseen menee aikaa kauemmin.

Kirjallisuudessa kirjoitetaan jonkin verran rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavista asioista. Kirjallisuudessa kuitenkin kirjoitetaan niistä puun ominaisuuksista, eri määräyksistä ja tekijöistä, jotka vaikuttavat puukerrostalon suunnitteluun ja toteutukseen. Määräyksien, sekä esimerkiksi paloteknisten ja äänitekniisten asioiden todettiin haastattelussa hoituvan kuntoon kaikilla rakennejärjestelmillä. Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavista asioista korostuu kirjallisuudessa sekä haastatteluissa erityisesti jänneväli. Jänneväliä takia kantavia linjoja tulee puukerrostalossa enemmän kuin betonirakenteisessa talossa (Tolppanen et al. 2013, s.33). Tolppasen et al. (2013, s.44) mukaan CLT-massivipuulevystä tehtyjen välipohjien maksimi jänneväli on käytännössä 6 metriä. Kantavat seinät-järjestelmä onkin omiaan esimerkiksi asuinrakennuksissa, joissa on tiheästi huoneistojen välisiä seiniä ja asunnon sisäisiä seiniä (Puuinfo 2011). Myös haastatteluissa todettiin pitkien jänneväliden rajoittavan tilaelementtien käyttöä rakennejärjestelmänä. Pidempiin jänneväleihin voidaan päästä pilari-palkkirakenteilla tai liittorakenteilla.

Erityisesti tilaelementtien osalta haastatteluissa löydetty tulokset täsmäävät kirjallisuuden kanssa yhteen. Tolppasen et al. (2013, s. 48–49) mukaan tilaelementit soveltuvat erityisesti tuotantoon ja rakennuksiin, joissa on paljon samanlaisia huonetiloja ja huoneistojen toistuvuus on suuri ja tilaelementtien käyttäminen rakentamisessa tekee työmaavaiheesta erittäin nopean. Haastatteluissakin tilaelementtien todettiin olevan parhaimmillaan silloin, kun huoneistojakauma painottuu pieniin asuntoihin ja huoneistoissa on paljon toistoja. Myös haastatteluissa tilaelementtitekniikan yhteydessä esiin nousi rakentamisen nopeus. Haastattelutuloksissa ja löydöksissä todettiin, että tilaelementit eivät sovellu ulko-

muodoltansa tai huoneistojen muodolta monimuotoiseen rakentamiseen. Esimerkiksi Kotilainen ja Hedman (2015, s.187–188) näkevät tilaelementtitekniikassa kehittämisen kohteita, jotta puutilaelementtiasunnoista saataisiin joustavampia. Monimuotoisissa rakennuksissa suurelementit ovat järkevämpi ratkaisu.

Tontin ja rakennustyömaan ominaisuuksien osalta haastatteluissa nousi esille useasti logistiikan järjestäminen, varastointi ja nostokalusto työmaalla. Haastatteluissa todettiin suurelementtien olevan helpommin varastoitavissa kuin tilaelementtien. Nostokaluston merkitys nousi esille erityisesti haastatteluissa. Varsinkin tilaelementtien kohdalla painotui järeän nostokaluston tarve. Kirjallisuudessa oli mainintoja nostokalustosta, kuten esimerkiksi, että kevyitä puurakenteita voidaan nostaa kevyellä nosturilla, esimerkiksi autonosturilla (Tolppanen et al. 2013, s.31). Kirjallisuudessa nostokaluston usein kerrottiin olevan kevyttä, mutta haastatteluissa mainittiin varsinkin tilaelementeillä rakennettaessa nostokaluston olevan hyvinkin järeätä. Tontin ja rakennustyömaan ominaisuuksista oli hieman vähemmän kirjallisuutta, mutta haastatteluissa nämä asiat nousivat esille.

Kerros määrän vaikutus nousi selkeästi esille haastatteluissa. Haastatteluissa todettiin massiivipuulla voitavan tehdä yli 8-kerroksisia rakennuksia, mutta tulevan kilpailukykyiseksi jo noin 5-kerroksisten talojen kohdalla. Esimerkiksi Tolppanen et al. (2013, s.44) kirjoittavat, että CLT-massiivipuulevystä tehdyistä suurelementeistä rakentaminen on kilpailukykyistä vaativissa rakennuskohteissa ja korkeissa puukerrostaloissa. Lisäksi Tolppanen et al. (2013, s.44) kirjoittavat, että CLT-levy toimii yhtä aikaa rakenteissa sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena. Massiivipuisten rakenteiden osalta erityisesti jäykistys nousee myös esille haastatteluissa. Haluttaessa puupintaa näkyviin, ohjaa se myös massiivipuun käyttämiseen.

Rakentajan omien resurssien vaikutus rakennejärjestelmän valintaan ja esivalmistusasteen määrittelyyn nousi selkeästi esille haastatteluissa. Kirjallisuudessa yleensä teollisen esivalmistuksen yhteydessä kirjoitettiin työn siirtymisestä tehtaaseen ja teollisen esivalmistuksen mahdollistamasta rakentamisen nopeudesta. Kirjallisuudessa ei kuitenkaan niin paljon nostettu esille rakentajan resursseja ja niiden vaikutusta sopivaan esivalmistusasteeseen tai rakennejärjestelmän valintaan.

Haastatteluissa käsiteltiin laajasti eri rakennejärjestelmien toteutukseen liittyviä asioita sekä niiden hyötyjä ja haasteita. Rakennejärjestelmien toteutukseen liittyvistä asioista löytyi kirjallisuudesta jonkin verran asiaa. Yhteneväisyyksiä eduista ja haasteista löytyi kirjallisuuden ja haastattelujen välillä. Yhtenäistä linjaa löytyi erityisesti teollisen esivalmistuksen hyödyistä, rakentamisen nopeudesta, laadun parantumisesta ja puurakentamisen mittatarkkuudesta. Puukerrostalorakentamisen yhteydessä esille tuleva sääsuojaus ja siitä huolehtiminen nousevat tärkeiksi asioiksi haastatteluissa sekä kirjallisuudessakin.

Edellä mainitut asiat esiintyivät haastattelutuloksissa sekä useilta osin niistä oli myös kirjallisuudessa mainintoja. Puukerrostalorakentamisen yleisistä asioista sekä eri rakennejärjestelmillä toteutukseen liittyvistä asioista saatiin kerättyä hyvin tietoa. Kokonaisuudessaan tutkimuksen löydökset ja haastattelutulokset vaikuttavat olevan pääasiassa yhteisessä linjassa kirjallisuuden kanssa. Toisaalta haastattelujen pohjalta nousivat esille enemmän myös tontin ja rakennustyömaan ominaisuudet, sekä rakentajan omien resursien vaikutus rakennejärjestelmän valintaan ja esivalmistuksen asteeseen, joista ei kirjallisuudessa ollut juurikaan mainintoja.

Tässä työssä useita pieniä tiedonjyväsiä saatiin kerättyä yhteen ja muodostettua käsitys siitä, mitkä tekijät vaikuttavat puukerrostalojen rakennejärjestelmän valintaan. Tulosten luotettavuutta arvioitaessa erityisesti puun kilpailukykytekijöiden kannalta on huomiotava se, että haastatellut henkilöt olivat kaikki puurakentamisen kanssa tekemisissä olevia henkilöitä. Haastateltavien valinnan osalta voidaan siis osoittaa kritiikkiä siitä syystä, että haastateltavat olivat pääasiassa puurakentamiseen erikoistuneita. Lisäksi esimerkiksi puuosatoimittajien haastatteluissa toimittajien oman rakennejärjestelmän hyötyjä saatettiin nostaa enemmän esille ja esitellä niitä ominaisuuksia, joissa toimittajien oma järjestelmä oli parhaimmillaan. Haastateltavien valinnassa kiinnitettiin huomiota siihen, että puukerrostalojen toteutuksesta sekä rakennejärjestelmän valintaan liittyvistä asioista tuli saada tietoa ja tätä tietoa saatiin parhaiten puurakentamiseen suuntautuneilta henkilöiltä. On mahdollista, että puusta ja puurakentamisesta ei nostettu esimerkiksi kaikkia haasteita esiin, vaikka näitä erikseen kysyttiin ja vastauksia saatiin laajasti. Näin ollen on mahdollista, että puurakentamisesta on tullut erilainen kuva kuin esimerkiksi tilanteessa, jossa haastateltaviksi olisi valittu myös pääasiassa betonirakentamiseen suuntautuneita henkilöitä. Vaikka puurakentamisen haasteita esiteltiin, on mahdollista, että kilpailuedut ja hyödyt nousivat vahvemmin esille johtuen haastateltavien taustasta. Tulosten luotettavuuden arvioinnin näkökulmasta haastateltavia oli useita ja selvästi yhteneväistä linjaa puurakentamisen kilpailukykytekijöiden sekä haasteiden osalta löytyi. Rakennejärjestelmiin sekä niiden valintaan liittyvien asioiden osalta haastatelluilla tuntui olevan pitkälti yhteneväinen linja kunkin järjestelmän eduista ja haasteista sekä toteutukseen liittyvistä asioista. Rakennejärjestelmien valintaan ja toteutukseen liittyvien asioiden osalta haastattelutulokset vaikuttivat yhteneväisiltä myös näitä käsittelevän kirjallisuuden kanssa. Edellä mainituista asioista johtuen voitaneen tuloksia pitää luotettavina. Tietoa voidaan hyödyntää jatkossa suomalaisten asuinpuukerrostalojen kontekstissa. Haastatteluissa läpikäytyt teemat ja kysymykset pidettiin yleisellä tasolla eikä kohdennettu kohdeyrityksen kerrostalokohteisiin. Haastateltavat kertoivat laajasti tietämyksensä sekä toteutettujen kohteiden avulla esimerkkejä puukerrostalojen toteutukseen sekä rakennejärjestelmiin liittyvistä asioista. Haastatteluissa haastateltiin eri rakennejärjestelmien kanssa tekemisissä olleita henkilöitä. Useista lähteistä kerätyn tiedon sekä yleiselle tasolle tähtäävien haastattelujen teemojen ja kysymysasettelujen ansiosta voidaan ajatella, että tulokset ovat laajemminkin yleistettävissä asuinpuukerrostalorakentamisessa. Tutkimuksen tulokset eivät siis rajaudu pelkästään kohdeyrityksen kerrostalokohteisiin.



## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Puukerrostalon rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavat asiat

Tutkimuksessa tehtyjen haastattelujen pohjalta kävi ilmi, että puukerrostalorakentamisessa pitkälle viety teollinen rakentaminen koetaan suureksi hyödyksi, rakennejärjestelmästä riippumatta. Puukerrostalojen rakennejärjestelmien valinnassa pitkälle viedyn teollisen esivalmistuksen hyödyntäminen koettiin tärkeäksi.

Erityisesti rakennejärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat rakennuksen muoto, jännevälit, huoneistojen keskikoot ja huoneistojakauma sekä huoneistojen muoto, jotka ohjaavat joko suurelementtien tai tilaelementtien suuntaan. Suurelementeillä rakennuksen muoto ei aseta rajoitteita, kun taas tilaelementeillä parhaiten onnistuu selkeän muotoisen tuotanto. Valinta ohjautuu tilaelementtejä kohti, jos huoneistoissa on paljon toistoa ja huoneistojen keskikoot ovat pieniä. Jos huoneistojen pohjissa ei ole paljoa toistoa ja keskikoot ovat isompia, ovat suurelementit tällöin järkevämpi ratkaisu.

Rakennuksen kerrosmäärä taas vaikuttaa siihen, kannattaako rakennus toteuttaa massiivipuusta vai rankarakenteisista ratkaisuksista. Rankarakenteisilla ratkaisuilla pystytään tekemään puuosiltaan 8-kerroksista tuotantoa. Massiivipuuisilla rakenteilla voidaan tehdä myös yli 8-kerroksista tuotantoa, mutta massiivipuun edut esimerkiksi jäykistyksen suhteen alkavat näkyä jo 5-kerroksisissa rakennuksissa. Rakennuksen huonekorkeus ja kerroskorkeus vaikuttavat myös rakennejärjestelmän valinnassa. Matalammalla kerroskorkeudella tekeminen onnistuu hyvin rankarakenteilla, mutta huonekorkeuden kasvattaminen tavanomaisesta ohjaa massiivipuuisia ratkaisuita kohti. Jos puupintaa halutaan jättää näkyviin, ohjaa se kohti massiivipuuisia ratkaisuita.

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa teollisen esivalmistuksen aste. Mikäli teollista esivalmistusta halutaan hyödyntää mahdollisimman pitkälle, ohjaa se rakennejärjestelmää tilaelementtien suuntaan. Esivalmistuksen asteeseen taas vaikuttaa rakentajan omat resurssit ja oma osaaminen. Pitkälle teollisesti esivalmistetussa tuotannossa työ painottuu enemmän elementtitehtaalte, jolloin rakentajalle jää pienempi osa kokonaisuudesta. Jos rakentaja tekee kaikki työt omilla työntekijöillä, ei ole tarkoituksenmukaista käyttää valmiiksi asti tehtyjä tilaelementtejä vaan esimerkiksi suurelementtejä. Mikäli rakentajalla ei ole omia asentajia, niin tällöin tilaelementit ovat todennäköisesti järkevämpi ratkaisu. Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa myös toimittajien määrä, osaaminen, kilpailutusmahdollisuudet sekä rakennejärjestelmän hinta.

Rakennejärjestelmän valintaan vaikuttaa myös toteutettavan rakennuksen tontti ja sen piirteet. Jos halutaan käyttää tilaelementtejä, tulee tontille mahtua raskasta nostokalustoa,

siellä on oltava varastointitilaa ja lisäksi logistiikan tontille on onnistuttava helposti. Suurelementtejä käytettäessä voidaan asennus tehdä kevyemmällä ja vähemmän tilaa vievällä nostokalustolla ja lisäksi varastointitilaa vaaditaan huomattavasti vähemmän.

Rakennejärjestelmän valintaan voi myös vaikuttaa se, että kuinka nopeasti rakentaminen rakennustyömaalla halutaan toteuttaa. Tilaelementeillä päästään teollisen esivalmistuksen ansiosta pystyttämään rakennus nopeammin kuin esimerkiksi massiivipuisilla tai rannakaranteisilla suurelementeillä. Rakennushankkeen kokonaisaika ei kuitenkaan välttämättä lyhene tilaelementtejäkään käytettäessä, sillä niiden suunnittelutyöhön ja valmistukseen menee aikaa.

## **7.2 Jatkotutkimusehdotukset**

Tämän tutkimuksen yhtenä haastatteluteemana oli toteutettujen puukerrostalokohteiden kustannukset, johon ei kuitenkaan saatu kovin kattavia vastauksia. Jatkotutkimusehdotuksena olisi puukerrostalojen rakennejärjestelmäkohtainen kustannusvertailu, jossa selvitetäisiin tarkemmin puukerrostalorakentamisen kustannuksia. Kustannusten osalta olisi mielenkiintoista tietää tarkemmin, minkälaisissa kohteissa mikäkin rakennejärjestelmä on kustannustehokkain.

Puukerrostalorakentamisesta puuttuvat yhteiset toimintajärjestelmät sekä puurakentamisen ekosysteemin ajatellaan olevan kehittymätön. Jatkotutkimuksissa voitaisiin selvittää lisää, mitä asioita tulisi vielä muuttaa ja parantaa, jotta puukerrostalorakentamiseen saataisiin luotua näitä kaivattuja yhteisiä toimintajärjestelmiä.

Puukerrostalorakentamisen prosessin todettiin haastatteluissa olevan kehittymässä ja poikkeavan perinteisen rakentamisen prosesseista. Jatkotutkimuksissa voitaisiin selvittää puukerrostalorakentamisen prosessia sekä puukerrostalorakentamisen prosessin kehityskohteita.

## LÄHTEET

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (2018). Normaalien vuokra- ja aso-asuntojen rakentamisen hinta. Saatavissa (viitattu 13.9.2018): [http://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/Tilastot\\_ja\\_selvitykset/ARAtuotanto/Normaalien\\_vuokra\\_ja\\_asoasuntojen\\_rakentamisen\\_hinta](http://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/Tilastot_ja_selvitykset/ARAtuotanto/Normaalien_vuokra_ja_asoasuntojen_rakentamisen_hinta)

Boverket (2006). Bostäder byggda med volymelement. En fallstudie av svenska bostadsprojekt – verklighet och vision, 1. uppl. ed. Boverket, Karlskrona.

CLT Finland (2018). Materiaalipankki, CLT Finland, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.7.2018): <http://www.hoisko.fi/fi/rakentaminen/materiaalipankki/>

CrossLam Kuhmo (2018). CLT Tuoteominaisuudet, CrossLam Kuhmo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.5.2018): <http://www.crosslam.fi/media/ladattavat-pdf/tuoteominaisuudet.pdf>

CrossLam Kuhmo (2018). Crosslamin valmistamasta CLT-levystä rakentaminen, CrossLam Kuhmo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.5.2018): <http://www.crosslam.fi/tuotteet/crosslam-levysta-rakentaminen.html>

Elfström, J. & Singh, A. (2013). Prefabricerat trähusbyggande med moduler : För- och nackdelar samt förslag på vidareutveckling, Uppsala universitet, Byggteknik. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-211693>

ELY-keskus (2018). Erikoiskuljetukset, ELY-keskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.7.2018): <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/erikoiskuljetukset>

ELY-keskus (2017). Milloin erikoiskuljetuslupaa ei tarvita EU- ja ETA-valtiossa rekisteröidylle ajoneuvolle, ELY-keskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.7.2018): <http://www.ely-keskus.fi/web/ely/erikoiskuljetukset>

Eskola, J. & Suoranta, J. (2001). Johdatus laadulliseen tutkimukseen, 5. p. ed. Vastapaino, Tampere, 266 sivua.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2008). Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö, Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki, 213 sivua

Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. & Sinivuori, E. (2009). Tutki ja kirjoita, 15. uud. p. ed. Tammi, Helsinki, 464 sivua

Hurmekoski, E. & Korhonen, J. (2017). Pitkän aikavälin katsaus puurakentamisen markkinoihin, Metsätieteen aikakauskirja, Suomen Metsätieteellinen Seura ry. Saatavissa (viitattu 4.6.2018) <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article7757.pdf>

- Karjalainen, M. (2017). Puukerrostalojen asukas- ja rakennuttajakysely 2017. Saatavissa (viitattu 31.5.2018) [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Puukerrostalojen\\_asukkaat\\_tyytyvaisia\\_er%2843584%29](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Puukerrostalojen_asukkaat_tyytyvaisia_er%2843584%29)
- Karjalainen, M. (2002). Suomalainen puukerrostalo puurakentamisen kehittämisen etulinjassa. Väitöskirja. Arkkitehtuurin osasto, Oulun yliopisto, Oulu. Saatavissa (viitattu 4.6.2018) <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514266188.pdf>
- Kilpeläinen, M., Ukonmaanaho, A. & Kivimäki, M. (2001). Avoin puurakennejärjestelmä - elementtirakenteet, Wood Focus Oy. Saatavissa (viitattu 9.7.2018) <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-elementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>
- Koivunen, J. (2016). Vertaileva tutkimus puukerrostalon perustuksista Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere. Saatavissa <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24342>
- Kotilainen, S. & Hedman, M. (2015). Asukaslähtöinen puukerrostalokortteli tilaelementeistä: esimerkkinä Kokkolan Nukkumatin tontin suunnitelma, Tampereen teknillinen yliopisto, arkkitehtuurin laitos, asuntosuunnittelu, Tampere, 213 sivua
- Kryssi, E. (2014). Puukerrostalo. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21966>
- Lahtela, T. (2014). Puukerrostalo - Talotekniikka - lämpö, vesi, ilmanvaihto, Puuinfo RoadShow 2014. Saatavissa (viitattu 24.7.2018) [https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/puukerrostalorakentamisen-tekninen-roadshow-2014/8\\_talotekniikka.pdf](https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tiedotteet/puukerrostalorakentamisen-tekninen-roadshow-2014/8_talotekniikka.pdf)
- Lahtela, T. (2004). Ääneneristys puutalossa, Wood Focus Oy, 110 sivua. Saatavissa (viitattu 16.7.2018) <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>
- Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta (2017). 812/2017. Saatavissa (viitattu 14.9.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170812>
- Lindbäcks Bygg Ab (2018). Lindbäcks går in i samarbete med byggbolag i Finland, Lindbäcks Bygg Ab, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.6.2018) <http://lindbäcks.se/pressmeddelande/lindbäcks-gar-samarbete-med-byggbolag-finland/>
- Mölsa, S. (2015). Puukerrostalo oli nopea tehdä mutta kallis suunnitella ja rakentaa. Rakennuslehti. Verkkolehti. Saatavissa (viitattu 11.9.2018) <https://www.rakennuslehti.fi/2015/06/puukerrostalo-oli-nopea-tehda-mutta-kallis-suunnitella-ja-rakentaa/>
- Puuinfo (2018). Paloturvallinen puutalo - Asuin- ja toimitilarakentaminen, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.6.2018) <https://www.puuinfo.fi/paloturvallinen-puutalo-asuin-ja-toimitilarakentaminen>

Puuinfo (2018). Puukerrostalo, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalo/puufokerrosta-lesitelr.pdf>

Puuinfo (2018). Puukerrostalon LVIS-ratkaisut, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.7.2018) <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu/puukerrostalon-lvis-ratkaisut>

Puuinfo (2018). Puurakentaminen ja kestävä kehitys, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/node/1571>

Puuinfo (2018). Puurakentamisen ekologinen kestävyys, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/node/1505>

Puuinfo (2018). Puurakentamisen kasvu näkyy tilastoissa, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/tiedote/puurakentamisen-kasvu-n%C3%A4ky-tilastoissa>

Puuinfo (2018). Puurakentamisen sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/node/1519>

Puuinfo (2018). Puurakentamisen taloudellinen kestävyys, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/node/1518>

Puuinfo (2018). Puuvälipohjilla saavutettavia mittoja, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.7.2018) <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu/puuv%C3%A4lipohjilla-saavutettavia-j%C3%A4nnemittoja>

Puuinfo (2011). Runkojärjestelmän vaikutus arkkitehtisuunnitteluun, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkoj%C3%A4rjestelm%C3%A4n-vaikutukset-puukerrostalon-arkkitehtisuunnitteluun>

Puuinfo (2015). RunkoPES 2.0, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20>

Puuinfo (2012). Tekninen tiedote 19.3.2012. Pintojen ja katteiden paloluokat. Saatavissa (viitattu 9.7.2018) <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf>

Puuinfo (2016). Tekninen tiedote 31.3.2016. Paloräystäs. Saatavissa (viitattu 10.9.2018) <https://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/palor%C3%A4yst%C3%A4s>

Puuinfo (2018). Valmistuneet puukerrostalo, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/articles/valmistuneet-puukerrostalo>

Puuinfo (2018). Yleisimmät rakennejärjestelmät, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.10.2018) <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentamisen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>

Rakennusteollisuus (2018). Asuntoaloitukset talotyypeittäin, Rakennusteollisuus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.6.2018) <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Asuntomarkkinat/>

RT 52-10801 (2003). Vesikiertoinen lattialämmitys, Rakennustietosäätiö, Helsinki, 7s.

Sabelström, P. (1998). Puukerrostalon tuoteosarakentaminen, kohteena As. Oy Lahden Pinja. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Arkkitehtuurin osasto, Rakennussuunnittelun laitos, Julkaisu, no. 30, Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Siikanen, U. (2016.) Puurakentaminen. 2., uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Stora Enso (2018). CLT - Cross Laminated Timber, Stora Enso, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.7.2018) <http://www.clt.info/fi/tuote/>

Stora Enso (2018). LVL by Stora Enso Technical brochure, Stora Enso, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.10.2018) <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/massive-wood-construction/lvl>

T2H Pirkanmaa Oy (2018). As Oy Tampereen Gabron kohde-esite. Saatavissa (viitattu 7.10.2018) [https://www.t2h.fi/sites/default/files/flipping\\_books/tampereen-gabro/index.html](https://www.t2h.fi/sites/default/files/flipping_books/tampereen-gabro/index.html)

Tampereen kaupunki (2018). Tonttihakuohjelmointi 2018-2022. Saatavissa (viitattu 30.5.2018) [http://www.tampereenseutu.fi/site/assets/files/15998/tampere\\_tontti-paiva\\_2018\\_03\\_22.pdf](http://www.tampereenseutu.fi/site/assets/files/15998/tampere_tontti-paiva_2018_03_22.pdf)

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. (2013). Suomalainen puukerrostalo: rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen, Opetushallitus, Helsinki, 194 sivua.

Valtioneuvosto (2015). Kärkihankkeet: Biotalous ja puhtaat ratkaisut, Valtioneuvosto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <http://valtioneuvosto.fi/documents/10184/321857/Biotalous-ja-puhtaat-ratkaisut/77a37956-d734-4fae-afc7-96c51c2a00bb/Biotalous-ja-puhtaat-ratkaisut.pdf>

Viljakainen, M. (2005). Avoin puurakennusjärjestelmä - suunnitteluperusteet, Wood Focus Oy, 110 sivua. Saatavissa (viitattu 16.5.2018) <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-suunnitteluperusteet/suunnitteluperusteetkokoohje.pdf>

Viljakainen, M. (1997). Puukerrostalo, Rakennustieto, Helsinki, 87 sivua.

Viljakainen, M. (1998). Puukerrostalo: taloudellinen mahdollisuus, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere, 122 sivua.

Viljakainen, M. & Karjalainen, M. (2013). Kestävät puujulkisivut ja asuntosprinklaus, Rakentajain kalenteri 2013, sivut 117-122, Rakennustietosäätiö. Saatavissa (viitattu 11.9.2018) <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130401.pdf>

Yeh, B., Kretschmann, D. & Wang, B. (2013). Manufacturing Cross-laminated timber manufacturing. In: CLT handbook: cross-laminated timber / edited by Erol Karacabeyli, Brad Douglas. U. S. ed., 23 sivua. Saatavissa (viitattu 17.5.2018) [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl\\_2013\\_yeh001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_yeh001.pdf)

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. (2014). 477/2014. Saatavissa (viitattu 16.7.2018) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksessa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista. (2017). 788/2017. Saatavissa (viitattu 17.7.2018) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170788>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (2017). 796/2017. Saatavissa (viitattu 16.7.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. (2017). 1010/2017. Saatavissa (viitattu 24.5.2018) <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta (2017). 848/2017. Saatavissa (viitattu 6.6.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (2017). 1047/2017. Saatavissa (viitattu 20.7.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047>

Ympäristöministeriö (2017). Perustelumuistio Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 6.6.2018) [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)

Ympäristöministeriö (2017). Perustelumuistio: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 16.7.2018) [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Meluntorjunta\\_ja\\_aaniolosuhteet](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Meluntorjunta_ja_aaniolosuhteet)

Ympäristöministeriö (2017). Perustelumuistio: Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 6.6.2018) [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi\\_asetus\\_rakennusten\\_paloturvallisuus\(45212\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_rakennusten_paloturvallisuus(45212))

Ympäristöministeriö (2016). Rakenteiden lujuus ja vakaus - puurakenteet, Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavissa (viitattu 6.6.2018) [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden\\_lujuus\\_ja\\_vakaus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Rakenteiden_lujuus_ja_vakaus)

Henkilökohtaiset tiedonannot:

Karjalainen, M. (2018). Sähköposti 7.10.2018. Viestin otsikko: Puukerrostalojen määrä - tilastot dippatyöhön. Lähettäjä: Markku Karjalainen. Vastaanottaja: Lauri Tuohimaa.

#### Haastattelut:

Haastateltava 1. Rakennuttajainsinööri. Sosiaalinen asuntotuotanto. Haastattelu 1 8.6.2018.

Haastateltava 2. Toimitusjohtaja. Asuntorakentaja. Haastattelu 2 8.6.2018.

Haastateltava 3. Toimitusjohtaja. Edunvalvontajärjestö. Haastattelu 3 11.6.2018.

Haastateltava 4. Liiketoiminnan kehityspäällikkö. Puuosatoimittaja. Haastattelu 4 20.6.2018.

Haastateltava 5. Tekninen johtaja. Puuosatoimittaja. Haastattelu 5 21.6.2018.

Haastateltava 6. Toimitusjohtaja. Puuosatoimittaja. Haastattelu 6 26.6.2018

Haastateltava 7. Toimitusjohtaja. Edunvalvontajärjestö. Haastattelu 7 6.7.2018



## LIITE A: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Kohdassa rakennejärjestelmään liittyvät erityispiirteet on kysymyksiä kohdistettu hieman eri tavalla riippuen siitä, kuka oli haastateltavana.

### **Yleiset kysymykset puukerrostalorakentamisesta:**

Asuinpuukerrostalorakentamisen tavoitteet ja syyt:

Asuinpuukerrostalorakentamisen hyödyt ja puukerrostalorakentamisen kilpailukykytekijät:

Asuinpuukerrostalorakentamisen haasteet:

Riskit asuinpuukerrostalorakentamisessa:

Miten näette ja uskotte asuinpuukerrostalorakentamisen tulevaisuuden kehityksen?

Mitä pitäisi rakennuslalla muuttaa tai kehittää, jotta puukerrostalorakentamisesta saataisiin halutumpaa ja kilpailukykyisempää?

### **Rakennejärjestelmään liittyvät erityispiirteet:**

Miten päädyitte valitsemaan kyseisen rakennejärjestelmän: / Mitkä eri tekijät vaikuttavat rakennejärjestelmän valintaan:

Rakennejärjestelmän toteutuksen hyödyt: / Eri rakennejärjestelmien toteutuksen hyödyt

Rakennejärjestelmän toteutuksen haasteet ja ongelmat: / Eri rakennejärjestelmien toteutuksen haasteet ja ongelmat:

Rakennejärjestelmän erityiset riskit: / Rakennejärjestelmäkohtaisia riskejä ja asioita, joihin kiinnittää huomiota:

Rakennejärjestelmällä rakentaminen, kokemukset: / Eri rakennejärjestelmillä rakentaminen, kokemuksia

### **Rakennetun kohteen kustannukset:**

Toteutuneen kohteen kustannustieto €/brm<sup>2</sup> tai €/hum<sup>2</sup>?

Miten kustannukset toteutuivat? Missä oli haasteita? Missä meni paremmin kuin ajateltiin?

Kustannukset verrattuna betonista rakennettuun vastaavanlaiseen kerrostaloon?